Beitrag

zur

PHYSIOLOGISCHEN OPTIK

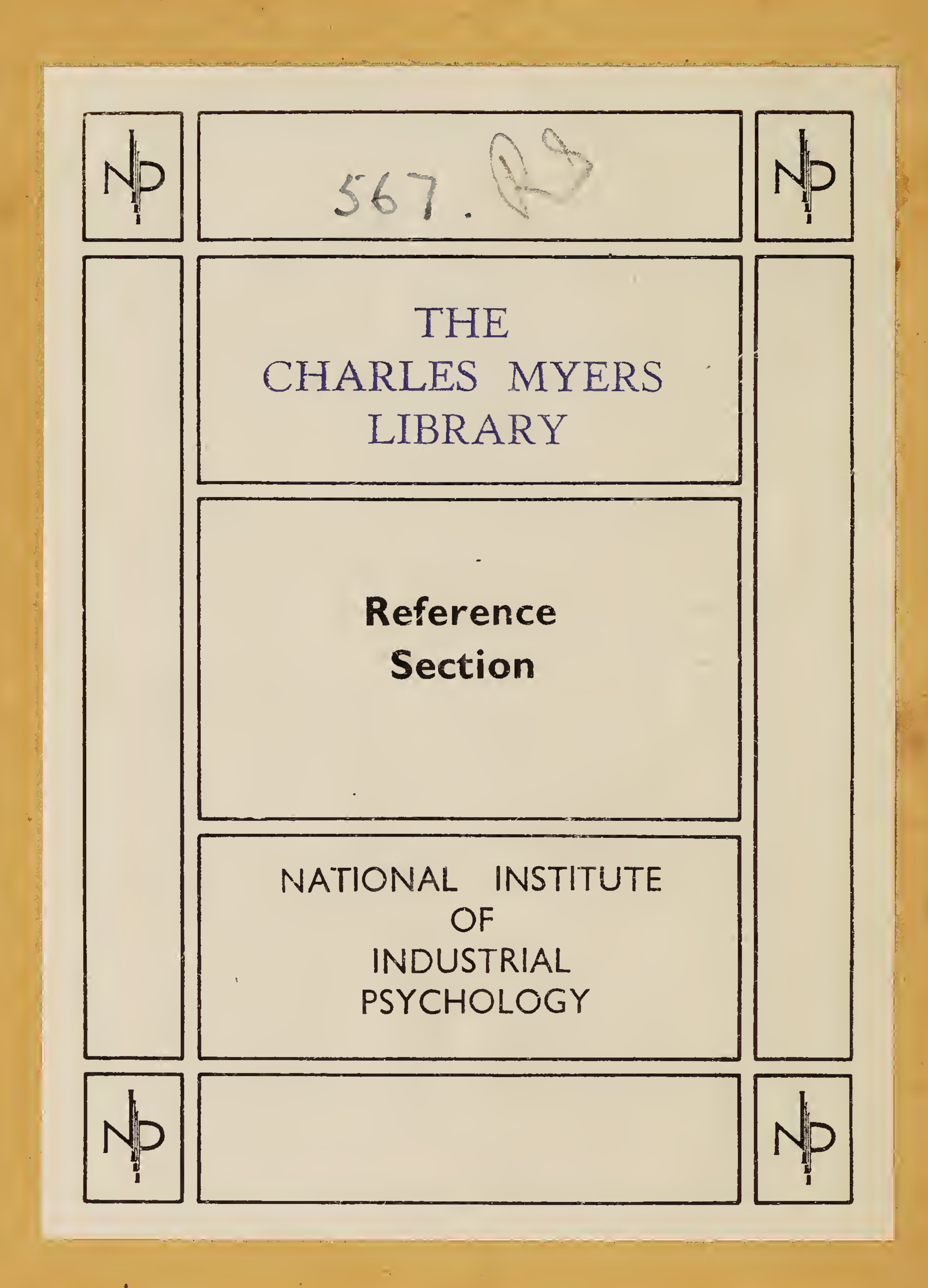
von

JOHANN BENEDICT LISTING.

(Mit zwei lithographirten Tafeln.)

Abgedruckt aus den Göttinger Studien. 1845.

Göttingen
bei Vandenhoeck und Ruprecht.
1 8 4 5.



Beitrag

zur

PHYSIOLOGISCHEN OPTIK

von

JOHANN BENEDICT LISTING.

(Mit zwei lithographirten Tafeln.)

Abgedruckt aus den Göttinger Studien. 1845.

Göttingen

bei Vandenhoeck und Ruprecht.

1 8 4 5.

Beitrag
zur
physiologischen Optik
von
Johann Benedict Listing.

(Mit zwei lithographirten Tafeln.)

Wenige Zweige der Physiologie haben sich dermalen so reicher Fortschritte durch die Unterstützung von Seiten der Physik zu rühmen, als die Lehre vom Gesichtsorgan und dessen Functionen, und diese Begünstigung mufs um so gröfser erscheinen, je weniger gleichzeitig unsere Kenntnisse in der Physiologie der übrigen Sinnesorgane erweitert worden sind. Die Hülfe, welche der Physiologie bei Erforschung des Tast-, des Geschmack- und des Geruchsinnes von der Physik geleistet worden, ist zur Zeit noch sehr gering. Stofs, Druck, Volumens- und Dichtigkeitsänderung, Elasticität, Reibung, Adhäsion, Capillarität, Absorption, Endosmose, Aggregatwechsel, Aenderungen der Temperatur und Wärmecapacität, Spannung und Strom der Electricität sind physicalische Vorgänge, welche neben den chemischen Actionen erst künftig auf dem genannten Gebiete der organischen Naturlehre wesentliche Berücksichtigung erfahren

müssen. Gleichermafsen ist der Dienst, den die Mechanik und die Akustik der Lehre vom Gehör geleistet haben, noch lange nicht zu einer Theorie der Functionen des Ohres hinreichend. Ganz anders in der Physiologie des Auges. Hier ist die Brücke zwischen der organischen und der unorganischen Naturlehre schon seit geraumer Zeit gebaut, die anatomische und physicalische Untersuchung der Bestandtheile des Organs hat vielfach zu sicheren Interpretationen geführt, und dadurch der Methode der messenden Naturwissenschaft ein unbestrittenes Feld eingeräumt. Man wird zwar diefs Mifsverhältnifs weniger befremdend finden bei richtiger Erwägung der Anlässe, durch welche bei den verschiedenen Sinnesorganen eine physicalische Methode in den Forschungen bedingt wird. Offenbar darf in dieser Hinsicht eigentlich nur von einer Vergleichung zwischen Gehör und Gesicht die Rede sein, bei welchen die der Nervenaffection vorangehenden Umänderungen der von der Aufsenwelt aufgenommenen Agentien auf physicalischen Vorgängen eben so beruht, wie die Vorbereitung der Nahrungsmittel zum Behuf der Assimilation auf mechanischen und chemischen Einwirkungen, während bei den übrigen drei Sinnesverrichtungen ein ähnliches Stadium physicalischer Metamorphose nicht deutlich ausgeprägt ist. Unverkennbar aber beruht die grofse Ungleichheit in der physicalischen Ausbildung der Lehre vom Auge und Ohre sowohl auf der ungleichen Summe gewonnener anatomischer und physiologischer Thatsachen, als auf dem verschiedenen Grade der Vervollkommnung der betreffenden physicalischen Theorien. Von empirischer Seite betrachtet, scheint diefs Verhältnifs weniger auf dem gröfseren Interesse zu beruhen, welches das edelste Sinneswerkzeug im menschlichen und thierischen Organismus allerdings für sich in Anspruch nehmen könnte, als vielmehr auf den objectiven Schwierigkeiten, die mit Beobachtungen und Messungen der Gehörsfunctionen verknüpft sind. Während im Auge die optische und mechanische Be-

deutung der meisten Bestandtheile festgestellt ist, und der ganze Bau dieses Instruments eine experimentelle Behandlung sowohl im Leben als im Tode in hohem Mafse begünstigt, läfst uns das Ohr über die Verrichtungen selbst der wesentlichsten Glieder des Apparates noch vielfach im Dunkel. Ebenso steht jenes Verhältnifs mit dem gegenwärtigen Stande der Theorie in genauem Zusammenhang. Hätte die Natur nach der lediglichen Analogie zwischen den Vibrationen des Aethers und denen der ponderabeln Medien zwei ganz correlate Sinnesorgane schaffen wollen, so müfsten die Dimensionen des Ohres die des Auges etwa millionenmal übertreffen, und der akustische Apparat hätte neben dem zollgrofsen Auge die abenteuerliche Gröfse von fast zwanzig Cubikmeilen erhalten müssen. Wir werden apagogisch zur Anerkennung eines wesentlichen, qualitativen Unterschiedes im Bau und Zweck der beiden Organe hingeführt. In der That scheint aufser der gemeinschaftlichen Fertigkeit, die Wellenfrequenz aufs Bestimmteste zu unterscheiden, das Ohr allein für den Geschwindigkeitswechsel innerhalb jeder einzelnen der successiven Wellen, das Auge allein für die Raumverhältnisse vieler gleichzeitig aufgenommenen Wellensysteme ein Unterscheidungsvermögen zu besitzen, und man könnte nicht unpassend das Ohr ein chronometrisches, das Auge ein geometrisches Werkzeug nennen. Die theoretische Optik aber in ihrem jetzigen Zustande lässt hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf die Untersuchung der Augenfunctionen fast nichts mehr zu wünschen übrig: in der Akustik mufs für den Theil der Theorie, welcher künftig eine ganz unumgängliche Basis für eine Hauptclasse der Verrichtungen des Gehörs zu bilden bestimmt scheint, nämlich die Ermittelung der Geschwindigkeitsänderungen innerhalb Einer Welle oder der sogenannten Wellenform, selbst der Beginn erst von der Zukunft erwartet werden.

So sehr nun in diesen wenigen Andeutungen, deren weitere Ausführung einer andern Gelegenheit vorbehalten

bleiben mufs, auf den Vortheil aufmerksam zu machen versucht worden, welchen die Physiologie des Auges gegenüber unserer Kenntnifs der andern Sinnesorgane und insonderheit des Gehörs dermalen gewonnen hat, so wenig hat dadurch zu der Meinung verleitet werden sollen, als wenn in der Ophthalmologie die gemachten Fortschritte nur eine geringe Zahl von Fragen noch unbeantwortet gelassen hätten. Abgesehen von dem bei allen Sinnesverrichtungen obschwebenden allgemeinen Problem der specifischen Nervenactionen, steht in der Naturlehre des Auges für die experimentelle Untersuchung noch ein weites Feld offen, mag sie sich auf die Feststellung neuer Arten von Erscheinungen, zu den die gegenwärtige Mittheilung ein Beispiel zu liefern bestimmt ist, oder auf die vollständige Erklärung von Thatsachen beziehen, welche, wie die Accomodation, seit Jahrhunderten bekannt sind. Aber das oben besprochene günstigere Verhältnifs zwischen Physik und Physiologie des Auges mufs hier — und das bestätigt die Erfahrung der neuern Zeit — durch den leichteren Anschlufs an die Theorie auf die Erweiterung unseres Wissens beschleunigend wirken.

1.

Es gibt bekanntlich solche Gesichtserscheinungen, bei welchen Theile des Auges selbst, oder in ihm mehr oder weniger zufällig vorhandene Körper gewissermafsen als Objecte auftreten und wahrnehmbar werden. Hierher gehören die sogenannten Mouches volantes, die von Mariotte entdeckte blinde Stelle der Netzhaut am Eintrittsorte des Nervus opticus, die Aderfigur im Purkinje'schen Versuch, und andere. Man hat sie bisher meist den subjectiven Gesichtserscheinungen beigezählt, während man sie füglicher zu den objectiven rechnen könnte, insofern bei ihnen im Auge befindliche Objecte unter wesentlicher Vermittelung des von aufsen

einfallenden, die Netzhaut treffenden Lichtes gesehen werden. Es möchte indefs nicht unzweckmäfsig sein, diese Erscheinungen von den objectiven im engern Sinne, wo das Object in geringer oder beträchtlicher Entfernung vor dem Auge befindlich ist, zu trennen und ihnen den Namen der entoptischen Gesichtserscheinungen beizulegen. Sie bilden alsdann eine Art Uebergangsgruppe zwischen den subjectiven und den eigentlich objectiven Perceptionen des Auges. Die hier mitzutheilenden Beobachtungen beziehen sich auf eine neue Erscheinung dieser Art, und obgleich ihre Zahl noch sehr gering, ihr Detail sehr verschieden ist, so scheint doch schon so viel aus ihnen gefolgert werden zu dürfen, dafs bei weitem in den meisten Augen die brechenden Mittel mit undurchsichtigen Stellen behaftet sind, welche rücksichtlich ihrer Gestalt und gegenseitigen Lage einen hohen Grad von Unveränderlichkeit besitzen und von jedem Auge leicht selbst, d. h. entoptisch wahrgenommen werden können.

2.

Zur Fixirung der Vorstellungen über den Gang der Lichtstrahlen im Auge sei es erlaubt, eine kurze dioptrische Betrachtung über das Auge voranzuschicken.

Der menschliche Sehapparat kann, für unsern gegenwärtigen Zweck hinreichend genau, einem System von drei verschieden stark brechenden Mitteln verglichen werden, welche durch sphärische Flächen getrennt sind, deren Krümmungsmittelpunkte auf Einer geraden Linie, der Augenaxe, liegen. In Fig. 1 stelle AL diese optische Axe des Auges und A, B, C die Durchschnittspunkte der drei Grenzflächen vor; ferner L den Ort der vom durchgelassenen Licht getroffenen, gegen die Axe normal gerichteten Nervenhaut, und II' das von der Iris gebildete Diaphragma, versehen mit nahezu kreisförmiger, gegen die Axe concentrisch gelegener Oeffnung, der Pupille. Die drei Flächen A, B, C sind der Ordnung nach (jede von der Seite des im Sinne von A nach

L einfallenden Lichtes betrachtet) convex, convex, concav. Die Fläche *A* trennt das erste Mittel von der angrenzenden atmosphärischen Luft und wird von der Vorderfläche der Hornhaut gebildet, die zweite *B* stellt die vordere und die dritte *C* die hintere Oberfläche der Linsenkapsel dar. Das erste Mittel zwischen *A* und *B* wird gebildet von der wäfsrigen Feuchtigkeit nebst der Hornhaut, das zweite zwischen *B* und *C* von der Krystalllinse sammt ihrer Kapsel, und das dritte zwischen *C* und *L* von der Glasfeuchtigkeit. Die Brechungsindices liegen zwischen denen des Wassers und des Glases. Der kleinste gehört dem ersten, der gröfste dem zweiten Medium an, der dritte ist nur unbedeutend gröfser als der erste.

In einem für paralleles Licht eingerichteten Auge werden alle in der Richtung der Axe von einem sehr weit entlegenen Punkte einfallende Strahlen nach dreimaliger Refraction im Punkte *L* vereinigt. Dieser in der Macula lutea liegende Punkt der Netzhaut, wo dieselbe mit der intensivsten Perceptionskraft ausgerüstet ist, und wohin wir beim directen Sehen durch angemessene Bewegungen des Auges das Bild des zu fixirenden Objectes bringen, ist also bei dem erwähnten Adaptionszustande der nach hinten gelegene Brennpunkt des Systems der drei brechenden Mittel. Der andere etwa um den halben Durchmesser des Augapfels vor der Hornhaut liegende Brennpunkt F^o ist der Ort, in welchem sich parallel zur Axe im Glaskörper von *L* nach *C* strahlendes Licht, nach den successiven Brechungen an den Trennungsflächen *C*, *B*, *A*, vereinigen würde. Lichtstrahlen, von ihm aus ins Auge fallend, werden somit unter sich und mit der Axe parallel den Glaskörper durchdringen. Im kurzsichtigen und in dem für näher gelegene Objecte accommodirten Auge haben diese beiden Brennpunkte eine etwas andere Lage. Der vordere liegt dem Auge näher, der hintere fällt merklich vor die Netzhaut. Bei einem weitsichtigen Auge, welches nur durch eine Sammellinse die Fix-

sterne als leuchtende Punkte wahrnimmt, steht der vordere Brennpunkt etwas weiter vom Auge ab, der hintere fällt hinter die Retina. Während der durch Adaption bewirkten innern, ihrem Mechanismus nach noch nicht vollständig bekannten, Veränderungen des Auges bewegen sich die beiden Brennpunkte in entgegengesetztem Sinne. Beim Nahesehen rücken beide der Hornhaut näher, beim Fernesehen entfernen sich beide von derselben.

Legen wir, gleichviel bei welchen der verschiedenen Adaptionszustände des Auges, durch jeden der beiden Brennpunkte eine Ebene normal zur Axe, so erhalten wir zwei Brennpunkts- oder Focalebenen, eine vordere und eine hintere. Von der sphärischen Aberration abgesehen oder nur solche Strahlen in Betracht gezogen, deren Neigung gegen die Axe nur gering ist, werden überhaupt parallel unter sich ins Auge fallende Lichtstrahlen im Glaskörper convergirend ausfahren und sich in einem bestimmten Punkte der hintern Focalebene vereinigen, und umgekehrt solche Strahlen, welche von einem bestimmten Punkte der vorderen Focalebene aus ins Auge fallen, nach erlittener dreifacher Brechung sich im Glaskörper unter einander parallel gegen die Netzhaut bewegen.

Bei einem System von brechenden Mitteln, wo sich das einfallende und das ausfahrende Licht in Körpern von verschiedenem Brechungsindex bewegt, wie diefs bei dem Auge der Fall ist, wo die aus der atmosphärischen Luft kommenden Strahlen zuletzt in den Glaskörper gelangen, kommen aufser den beiden Brennpunkten und ihren Ebenen noch vier andere Punkte in Betracht, durch welche die Regeln für die Construction der Wege und Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen vor und nach der mehrfachen Brechung sehr vereinfacht werden. Erstlich befinden sich zwischen den beiden Brennpunkten auf der Axe zwei Punkte, denen wir mit Gaufs [1]) den Namen der Hauptpunkte, ihren Ebenen,

[1]) Dioptrische Untersuchungen. S. 13.

wie bei den Brennpunkten durch sie normal zur Axe gelegt, den Namen der Hauptebenen beilegen. Diese Punkte liegen im Auge in der vorderen Augenkammer, also zwischen der ersten und zweiten Trennungsfläche. Sie stehen beide, während ihre gegenseitige Entfernung wenige Zehntheile eines Millimeters beträgt, dem vorderen Brennpunkt näher, als dem hintern, von jenem etwa $\frac{2}{3}$, von diesem fast $\frac{7}{8}$ des Augendurchmessers in einem für paralleles Licht accomodirten Auge entfernt. Sodann liegen zwei andere Punkte auf der Axe des Auges hinter den beiden Hauptpunkten, welche die Knotenpunkte der Richtungslinien heifsen mögen [1]). Ihr Abstand von einander ist stets dem der Hauptpunkte, die Entfernung des hintern Knotenpunkts von dem hinteren Brennpunkt immer der zwischen dem vorderen Hauptpunkt und dem vorderen Brennpunkte gleich. Die beiden Knotenpunkte fallen ganz in die Nähe der Hinterfläche der Krystalllinse wahrscheinlich häufiger vor, als hinter dieselbe. Fig. 2 stellt die gegenseitige Lage der 3 verschiedenen Paare von Punkten dar: F^0 ist der vordere, F der hintere Brennpunkt, E^0 der vordere, E der hintere Hauptpunkt, K^0 der vordere, K der hintere Knotenpunkt, und es ist jederzeit $E^0 E = K^0 K$ und $F^0 E^0 = K F$. Wie die Brennpunkte, so ändern auch die Haupt- und die Knotenpunkte bei den Adaptionsänderungen des Auges ihre Plätze, nur in geringerem Mafse. Ein Metallstab zwischen F^0 und F, der die sämmtlichen sechs Punkte unter einander verbindet und, in der Gegend, wo er die erste Trennungsfläche durchdringt (etwa 2^{mm} vor E^0) festgehalten, durch Temperaturänderung sich in allen Theilen verlängert oder verkürzt, könnte zur Versinnlichung der Verschiebungen dienen, wel-

[1]) Die beiden Punkte, welche Moser (Repertorium der Physik Bd. V. S. 372) ersten und zweiten Hauptpunkt des Auges nennt, sind von den durch Gaufs eingeführten Hauptpunkten wesentlich verschieden und mit den hier sogenannten Knotenpunkten identisch.

che die verbundenen Punkte gleichzeitig bei den Aenderungen des Refractionszustandes im Auge erleiden. Ob dieser Stab (in demselben Bilde zu reden) aus Einem oder, unbeschadet der erforderlichen Symmetrie der beiden Hälften, streckenweise aus verschiedenen Metallen bestehend gedacht werden müsste, kann freilich, solange die Adaptionselemente nicht genau bekannt sind, nicht näher angegeben werden. Vorläufig kann man sich damit begnügen, die Verschiebung jedes der sechs Punkte seiner Entfernung von der Vorderfläche der Hornhaut proportional zu setzen.

3.

Die Anwendung und Bedeutung der verschiedenen bisher besprochenen Punkte und Ebenen springt nun aus nachstehenden Constructionen von selbst hervor.

Es sei in Fig. 3 ein ins Auge fallender Strahl von beliebiger Lage gegeben (der selbst — was in der Zeichnung nicht näher angedeutet wird — so liegen kann, dafs er mit der Axe nicht in Einer Ebene enthalten ist), so findet man die Lage des Strahls im Glaskörper auf folgende Art. Der einfallende Strahl treffe die vordere Brennpunktsebene im Punkte (1), die vordere Hauptebene im Punkte (2), eine Parallele mit der Axe durch (2) treffe die hintere Hauptebene in (3), und eine Parallele mit (1)(2) durch den hinteren Knotenpunkt schneide die hintere Brennpunktsebene in (4); so gibt (3)(4) die Lage des Strahls im Glaskörper. Ohne Zuziehung eines Knotenpunktes würde man den Punkt (4) auch durch die Linien F^{0} (5) und (5)(4) finden, die erste parallel zum einfallenden Strahl (1)(2), die zweite parallel zur Axe ziehend.

Wäre ein Strahl gegeben, der über (2) hinaus verlängert durch K° ginge, so würde er nach erlittenen Brechungen mit der Linie K(4) zusammenfallen, d. h. einem auf den vorderen Knotenpunkt zielenden einfallenden Strahl ge-

hört ein ihm paralleler ausfahrender Strahl zu, der auf den hinteren Knotenpunkt zielt, oder ein nach dem vorderen Knotenpunkt gerichteter Strahl bewegt sich im Glaskörper in derselben Richtung und erscheint blofs um die Distanz der Knotenpunkte längs der Axe verschoben. Ein solcher Strahl verhält sich also, wie wenn er durch ein Planglas (mit parallelen, zur Axe normal liegenden Seiten) gegangen wäre. Nennen wir erste Richtungslinie diejenige gerade Linie, welche einen vor dem Auge in beliebiger Entfernung liegenden Objectpunkt mit dem vorderen Knotenpunkt verbindet, zweite Richtungslinie eine durch den hinteren Knotenpunkt gehende, mit der ersten Richtungslinie parallele Linie; so läfst sich das eben Gesagte so ausdrücken: ein längs der ersten Richtungslinie einfallender Strahl geht nach der Brechung längs der zweiten Richtungslinie. Diesen Fall erläutert Fig. 4, wo DK^{o} die erste, KD' die zweite Richtungslinie vorstellt.

Für ein System parallel einfallender Strahlen ist der Punkt (4) Fig. 3 gemeinschaftlich und in ihm müssen sich alle Strahlen nach der Brechung vereinigen. Das Bild liegt auf dem Durchschnittspunkt der zweiten Richtungslinien mit der hinteren Focalebene. Ist das Auge für paralleles Licht adaptirt, so sieht es einen unendlich fern liegenden leuchtenden Punkt deutlich, und das Bild liegt auf der Netzhaut da, wohin auf ihr die zweite Richtungslinie trifft. Dieser Fall ist in Fig. 5 dargestellt, wo die parallelen Stellen A, A', A'', A''' nach der Brechung im Punkte B der hinteren Focalebene convergiren. DK^{o} und KD' sind, wie in der vorigen Figur, die Richtungslinien.

Für ein System einfallender Strahlen, die von einem Punkte der vorderen Focalebene ausgehen, sind alle ausfahrenden Strahlen im Glaskörper unter einander und mit den beiden Richtungslinien parallel. In Fig. 6 ist P der leuchtende Punkt, DK^{o} die erste und KD' die zweite Richtungslinie. Die ausfahrenden Strahlen Q, Q', Q'' u. s. w. sind

sämmtlich mit den letzteren parallel; ihre auf dem hinteren Hauptplanum gelegenen Anfangspunkte werden, wie der Punkt (3) in Fig. 3, nach der oben erörterten Regel bestimmt. Der hierher gehörige specielle Fall, wo P mit F^o zusammenfällt und die Strahlen im Glaskörper mit der Axe parallel gehen, bedarf keiner besonderen Auseinandersetzung.

Liegt der leuchtende Punkt in endlicher Entfernung vor der vorderen Focalebene (Fig. 7), so convergiren die ausfahrenden Strahlen gegen einen hinter der hinteren Focalebene liegenden Punkt der zweiten Richtungslinie, den man findet, wenn man die oben an Fig. 3 erörterte Construction auf einen mit der ersten Richtungslinie PK^o nicht parallelen einfallenden Strahl anwendet. Liegt die Lichtquelle aufser der Augenaxe, so verbinde man P mit F^o durch eine gerade Linie, verlängere sie bis zur vorderen Hauptebene nach (5) und ziehe parallel zur Axe durch (5) eine gerade Linie, so ist der Durchschnittspunkt P' dieser letztern mit der zweiten Richtungslinie das reelle Bild [1]) von P. Liegt aber der strahlende Punkt in der Augenaxe, so ziehe man (Fig. 8) einen zur Axe geneigten Strahl $P(2)$, bestimme nach der in Fig. 3 gegebenen Vorschrift den ausfahrenden Strahl (3)(4), so wird der Durchschnitt P' desselben mit der Axe, mit welcher nunmehr beide Richtungslinien zusammenfallen, das gesuchte Bild sein. Ist FP' die gröfste Entfernung, in welche durch Accomodation die hintere Brennpunktsebene vor die Retina versetzt werden kann, so ist die Entfernung des Punktes P vom Auge die kleinste, in der das Auge deutlich zu sehen vermag. Bei geringerer Entfer-

---

[1]) Reell mufs dieses Bild nach der Sprache der Optik selbst in dem Fall genannt werden, wenn die Retina vor P' liegt und die Strahlen im Glaskörper gar nicht zur wirklichen Vereinigung kommen, — oder man dürfte nicht von reellen Bildern hinter der Objectivlinse im Galilei'schen Fernrohr und vor dem Objectivspiegel im Cassegrain'schen Telescop reden.

nung des Punktes P fällt also für jeden möglichen Refractionszustand des Auges das Bild hinter die Netzhaut, und der Punkt P hört auf deutlich zu erscheinen. Eine solche Grenze für die Annäherung des Punktes P während des deutlichen Sehens findet für jedes Auge statt. Sie scheint auch bei sehr kurzsichtigen Augen nicht unter 5 Centimeter (bis zur Vorderfläche der Cornea gerechnet) zu betragen [1]. Wäre FP' die kleinste Entfernung, in welche ein kurzsichtiges Auge durch Adaption den hinteren Brennpunkt vor die Netzhaut zu versetzen vermag, so wäre die Entfernung des Objects P vom Auge die gröfste, bei der das Auge noch deutlich sieht. Es gibt, nach meinen Erfahrungen, kurzsichtige Augen von geringem Adaptionsumfang, wo dieses Maximum der Entfernung des Objectpunktes P von der Hornhaut nur $7\frac{1}{2}$ Centimeter beträgt. Diese Grenze findet übrigens nur für kurzsichtige Augen statt.

Geht endlich (Fig. 9) von einem zwischen dem Auge und der vorderen Focalebene befindlichen Punkt P Licht aus, so werden die Strahlen Q, Q', Q'' u. s. w. im Glaskörper von einem auf der zweiten Richtungslinie KD' liegenden Punkt P' divergiren, welcher ein virtuelles Bild von P sein wird. Seine Bestimmung geschieht (wie die Figur von selbst erläutert) ganz auf die bei Fig. 7 erwähnte Art. Fig. 10 (analog der 8. Figur) stellt den hierher gehörigen Specialfall dar, wo P in der Axe liegt.

4.

Unter Berücksichtigung dreier successiven Brechungen im Auge geben die im vorigen Art. auseinandergesetzten Constructionen die genauen geometrischen Beziehungen zwischen

---

[1]) Als ganz anomal ist der von Hueck (die Bewegung der Krystalllinse S. 7) angeführte Fall eines sog. microscopischen Auges zu betrachten, welches nur in dem Intervall von 8 bis 28 par. Linien deutlich sah.

den einfallenden und den im Glaskörper verlaufenden Lichtstrahlen. Sie werden, wenn künftige Messungen die gegenseitigen Entfernungen der besprochenen optischen Punkte und ihre von der Accommodation abhängigen Ortsveränderungen werden genauer [1]) kennen lehren, einen wesentlichen Theil der Theorie des uniocularen Sehens bilden. Die ersten Richtungslinien, nach allen aufser der Axe liegenden Punkten eines (ausgedehnten) Objects gezogen, sind die Sehrichtungen für das indirecte Sehen. Die scheinbare Lage der im Gesichtsfeld vorhandenen Objecte bei unveränderter Stellung der Augenaxe ist diejenige, welche ein im vorderen Knotenpunkte befindliches Auge von unendlich kleinen Dimensionen beobachten würde, und in derselben Lage müfsten die Netzhautbilder einem solchen Auge vom hinteren Knotenpunkt aus erscheinen, nur in Richtungen, welche um 180 Grad von den Sehrichtungen verschieden sind. Führen wir, beim directen Sehen, die Augenaxe successiv auf alle Objectspunkte, so ist der Standpunkt jenes unendlich kleinen Auges in dem von Volkmann bestimmten Drehungspunkt des Auges zu nehmen, welcher fast um $\frac{1}{5}$ des Augendurchmessers hinter dem hintern Knotenpunkte gelegen ist. Die Visirlinie, eine gerade Linie vom Drehungspunkt des Auges nach dem Objecte gezogen, in welche beim directen Sehen, Visiren, die Axe des Auges während unverrückter Stellung der Augenhöhle durch die Muskeln versetzt werden mufs, ist also für ein indirect gesehenes Object verschieden von der ersten Richtungslinie, und der Winkel zwischen beiden ist die Parallaxe zwischen der scheinbaren Lage der Objecte bei directem und in-

---

[1]) Die oben eingestreuten Angaben dieser Art sollten nur zur beiläufigen Veranschaulichung dieser Verhältnisse dienen, was für den gegenwärtigen Zweck genügt. Ich werde bei einer andern Gelegenheit versuchen, die numerischen Elemente, wie sie aus den bisherigen Erfahrungen folgen, in einem schematischen oder einem sog. »mittleren« Auge zu vereinigen.

directem Sehen, bedingt durch die Excentricität des vorderen Knotenpunkts in seiner Stellung zu dem mechanischen Centrum des Auges [1]).

5.

Für die meisten Fälle der Anwendung genügt die Vereinfachung in den Voraussetzungen, dafs man das Auge als aus Einem — homogenen und isophanen — brechenden Mittel bestehend denkt, und es ist nunmehr nach dem Vorhergehenden nicht schwer, die näheren Bestimmungen für diese Vereinfachung anzugeben. Man hat meistens ohne Aenderung der Hornhautoberfläche die Linse aus dem Auge weggelassen und dem brechenden Medium einen so grofsen Brechungsindex beigelegt, als nöthig ist, den hinteren Brennpunkt in die Nähe des gelben Flecks der Netzhaut zu setzen,

---

1) Ihr Betrag in Bogenminuten ist gleich dem Verhältnifs der Zahl 1719 zu der in Centimetern ausgedrückten Entfernung des Objects vom Auge, multiplicirt mit dem Sinus der am Drehungspunkt gemessenen Elongation des indirect gesehenen Objects von der Augenaxe. Für ein 25 Centimeter vom Auge entferntes Object z. B. findet man bei folgenden Elongationen von der Axe:

bei 5^0	Parall.	6′0
10	. . .	11,9
15	. . .	17,8
20	. . .	23,5
25	. . .	29,1

Sie ist Null für in der Axe befindliche Objecte in jeder Entfernung und für unendlich ferne Objecte in jeder Elongation. — Diese Parallaxe bezieht sich blofs auf Objecte im Horopter und ist wohl von der zu unterscheiden, wo bei der Drehung des Auges durch Versetzung der Pupille aus der ersten Richtungslinie eine Ablenkung des (undeutlichen) Bildes von der zweiten Richtungslinie jedes nicht im Horopter liegenden Objects verursacht wird. Hiernach mufs der von Brewster (Phil. Trans. of the Roy. Soc. of Edinburgh vol. XV. part. III. pag. 351) angeführte Versuch und die daran geknüpfte Argumentation beurtheilt werden.

einen Index, der gröfser ausfällt, als der stärkste durch Beobachtungen im Auge gefundene, nämlich des Kerns der Krystalllinse, ja stärker als derjenige, den man der ganzen als homogen betrachteten Linse beilegen mufs. Bei dieser Uebergangsweise behielt von unseren sechs optischen Punkten nur der hintere Focus seinen vorigen Platz, die übrigen fünf mufsten wesentliche Versetzungen erleiden. Liegt es nun in der Natur der hier einzuführenden Vereinfachung, dafs sowohl die beiden Hauptpunkte als die beiden Knotenpunkte in je einen Punkt zusammenfallen, so mufs in dioptrischer Hinsicht diejenige Uebertragung naturgemäfser sein, wo die Ortsänderungen die möglich geringsten werden. Wir lassen also die Entfernung zwischen den beiden Brennpunkten ungeändert und vereinigen das Paar der Hauptpunkte und der Knotenpunkte jedes in einen einzigen mittleren Punkt. Die Versetzungen sind alsdann geringer als die bei den experimentellen Bestimmungen unvermeidlichen Beobachtungsfehler. Der so entstehende Hauptpunkt behält gegen den vorderen Brennpunkt dieselbe Entfernung, wie der Knotenpunkt[1]) gegen den hinteren Brennpunkt. Auch die vier Punkte müssen durch die Adaption ähnliche Verschiebungen erleiden, wie die oben (Art. 2) erwähnten. Diesem Schema von vier Punkten entspricht Ein brechendes Mittel, getrennt von der umgebenden atmosphärischen Luft durch eine sphärische convexe Oberfläche, welche die Axe im Hauptpunkt schneidet und deren Centrum im Knotenpunkt liegt. Es seien in Fig. 11 F^0 und F, wie früher, die Brennpunkte, E der Hauptpunkt und K der Knotenpunkt, so mag in angenäherten runden Zahlen $F^0E = KF = 15$

[1]) Dieser Knotenpunkt ist — seiner optischen Bedeutung nach — ganz identisch mit dem Volkmann'schen Kreuzungspunkte, und man mag ihn, will man die Beziehung zu den beiden Knotenpunkten der genaueren Theorie aufser Acht lassen, hinfort Kreuzungspunkt nennen, wenn auch die von Volkmann ermittelte Stelle im Auge noch einer Verbesserung bedürfen sollte.

Millimeter, $EK = 5$ Millim. gesetzt werden. Der Brechungsindex des Mediums (gleich dem Verhältnifs der Entfernungen des Hauptpunkts von dem hintern und vordern Brennpunkt) wird also dem des Wassers gleich; die Krümmung der vorderen Begrenzung des Auges mufste aber im Verhältnifs von 5 zu 8 verstärkt und ihr Durchschnitt mit der Augenaxe um etwa 3 Millim. nach hinten gerückt werden.

Wie sich unter der gegenwärtigen Voraussetzung die in Art. 3 vorgetragenen Constructionen vereinfachen, ergibt sich ohne weitere Auseinandersetzung leicht von selbst, und es genügt hier darauf aufmerksam zu machen, dafs, sowie sich die Hauptpunkte und die Knotenpunkte je in einen Punkt vereinigen, so auch die beiden Hauptebenen in eine Hauptebene, ferner die in den Figuren 3, 4, 10 mit (2) und (3) bezeichneten Punkte in einen Punkt, und endlich die erste und zweite Richtungslinie in eine Richtungslinie zusammenfallen.

Die Richtungslinie in der nunmehrigen Bedeutung ist also eine vom (direct oder indirect) gesehenen Objectpunkt durch den Knotenpunkt des Auges gezogene gerade Linie. Auf ihr liegt der reelle oder virtuelle Vereinigungspunkt der im Glaskörper verlaufenden Lichtstrahlen. Steht der Objectpunkt im Horopter oder in der durch den Refractionszustand des Auges bedingten Entfernung des deutlichen Sehens, so liegt das Bild auf dem Durchschnittspunkt der Richtungslinie mit der Retina. Steht der Objectpunkt diesseits oder jenseits des Horopters, so empfängt die Netzhaut unvereinigte, über eine Fläche vertheilte Strahlen, und die Undeutlichkeit des Sehens ist dem Grade dieser Ausbreitung d. i. dem Areal der bestrahlten Fläche proportional. Verstehen wir unter S e h r i c h t u n g oder S e h l i n i e bei der jetzt gemachten einfacheren Voraussetzung jede von einer optisch erregten Stelle der Nervenhaut durch den Knotenpunkt nach aufsen gezogene gerade Linie, so fällt bei Horopterbildern die Sehrichtung mit der Richtungslinie nothwendig zusammen, bei Bildern aber von

Objecten aufser dem Horopter nur dann, wenn derjenige Lichtstrahl, welcher die Mitte des die Strahlen begrenzenden natürlichen oder künstlichen Diaphragmas passirt, zugleich durch den Knotenpunkt geht. Es beruht hierauf nicht blofs die Erklärung der bekannten Versuche von Scheiner und Young, sondern auch der Vergröfserung oder Verkleinerung der scheinbaren Gröfse diesseits oder jenseits des Horopters liegender Objecte, wenn man sie durch kleine Oeffnungen betrachtet [1]).

6.

Haben wir nun bei den bisherigen Betrachtungen aus den gegebenen einfallenden Strahlen den Weg der im Glaskörper zwischen der letzten Trennungsfläche der drei Medien des Auges und der Netzhaut abgeleitet, so bliebe noch eine Betrachtung derjenigen Wege übrig, welche die Lichtstrahlen in den vor dieser letzten Trennungsfläche liegenden Mitteln, d. h. in der wäfsrigen Feuchtigkeit und in der Krystalllinse durchlaufen. Eine solche Betrachtung ist zwar für die Analyse sowohl der meisten objectiven als auch der subjectiven Gesichtserscheinungen nur von untergeordnetem Interesse. Unser gegenwärtiger Zweck aber, wo es sich um eine entoptische Erscheinung handelt, könnte geeignet scheinen, eine Entwickelung auch dieses Theils der Dioptrik des menschlichen Auges in constructiver Form zu veranlassen. Es würde eine mehrmalige successive Anwendung derjeni-

---

[1]) Burow hat in seiner Schrift „Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges" bei seiner Methode, den Kreuzungspunkt zu bestimmen, diesen letztern Umstand übersehen (S. 85), und ist dadurch zu dem irrigen Schlusse verleitet worden, dafs der Kreuzungspunkt vor der Hornhaut liege und dafs seine Entfernung von derselben eine Function von der Elongation indirect gesehener Objecte sei (S. 91. 92). Hätte der Verfasser seine Beobachtungszahlen mitgetheilt, so liefse sich wahrscheinlich das richtige Resultat aus ihnen ableiten.

gen Vorschriften nothwendig werden, nach welchen man bei Einer sphärischen Trennungsfläche zwischen zwei Medien von verschiedenen Brechungsconstanten die gebrochenen Strahlen aus den einfallenden ableitet, Vorschriften, welche sich wesentlich aus den Art. 3 erörterten Regeln ergeben, wenn man die im vorigen Art. eingeführte Voraussetzung auf sie anwendet. Man könnte sich wegen des sehr geringen Unterschiedes zwischen den Brechungsverhältnissen des ersten und dritten Mittels erlauben, die Krystalllinse als auf beiden Seiten von gleichstark brechenden Mitteln umgeben anzusehen, und die durch die erste Trennungsfläche (die Cornea) hindurchgegangenen Strahlen als durch eine Biconvexlinse von demjenigen Brechungsindex fallend annehmen, welcher dem Uebergang von dem benachbarten Medium in die Linsensubstanz entspricht. Indessen zeigt gerade diese Betrachtungsweise, welche verschiedentlich zur Berechnung der Vereinigungsweite der im Glaskörper verlaufenden Strahlen angewandt worden ist, dafs die bedeutendste Ablenkung der Strahlen bei der ersten Trennungsfläche stattfindet und dafs die Linse so geringe Aenderungen in der Convergenz der Strahlen verursacht, dafs auch in dieser Beziehung für die meisten Fälle die einfache Hypothese des vorigen Art. vollkommen ausreicht. Müssen wir auch der Linse wegen ihres Schichtenbaues, falls wir sie als ein homogenes Medium betrachten wollen, einen höhern Brechungsindex beilegen, als der gröfste von Chossat für den Kern derselben gefundene [1]), so bleibt doch der erforderliche relative Index der

[1]) Es mag bei dieser Gelegenheit bemerkt werden, dafs hierin die einfache so oft verkannte Lösung des Räthsels liegt, welches man seit langem in der grofsen Differenz zwischen Theorie und Erfahrung rücksichtlich der Vereinigungsweite der gebrochenen Strahlen im Auge zu finden pflegt. In ganz neuen physiologischen Schriften, welche diesen Gegenstand mit ungeschickter Breite behandeln, legt man der als homogen betrachteten Linse den relativen Index 1,0350 bei und sucht alsdann die Widersprüche, welche aus diesem Verstofs gegen die Optik

Krystalllinse noch unter der Zahl $\frac{14}{13}$, während beim Uebergang des Lichts aus der Atmosphäre in die die Linse umgebenden Substanzen dieses Verhältnifs gröfser als $\frac{4}{3}$ (etwa $\frac{103}{77}$) gesetzt werden mufs, und die Richtungsunterschiede vor und hinter der zweiten und dritten Trennungsfläche werden selbst für die Randstrahlen bei weit geöffneter Pupille meist so gering, dafs die Deviation zumal auf so kurzen Wegen (von kaum 5 Millim.) auch für unsern Fall ohne erheblichen Fehler vernachlässigt werden kann. Wir betrachten also die rückwärts bis zur Vorderfläche der Hornhaut gezogenen Verlängerungen der im Glaskörper verlaufenden Strahlen, nachdem ihre Bahnen den im vorigen Art. gedachten Vorschriften gemäfs bestimmt sind, als die Wege, welche diese Strahlen in der vorderen Augenkammer und in der Krystalllinse durchlaufen.

7.

Um den Ausdruck im Folgenden abzukürzen, mag ein System solcher Lichtstrahlen, welche alle unter einander parallel sind, oder welche sämmtlich von einem Punkte aus divergiren, oder nach einem Punkte hin convergiren, homocentrisches Licht genannt werden. Es ist also unter dieser Benennung z. B. das parallele Licht eines Fixsterns oder eines bestimmten Punktes der Sonnen- oder Mondscheibe begriffen, ferner das von einem bestimmten Punkte der Oberfläche jedes leuchtenden oder beleuchteten Körpers, oder das von einem electrischen Punkte von unmefsbar kleinen Dimensionen, oder das von einem bestimmten Punkte eines reellen oder virtuellen durch Linsen oder Spiegel entstandenen Bildes divergirende Licht, und endlich Strahlen, welche unter Anwendung katoptrischer oder dioptrischer

---

erwachsen, durch die erkünsteltsten, aller physicalischen und physiologischen Stütze ermangelnden Mittel zu heben.

Mittel nach einem reellen Bildpunkte hin convergiren. Statt Eines Systems homocentrischen Lichtes begegnen wir in der Natur und bei optischen Versuchen häufig einer Gesammtheit von Systemen homocentrischen Lichts, deren Centra auf einer Fläche oder in einem körperlichen Raume, bald von geringerer bald von gröfserer Ausdehnung, vertheilt sind. So ist das Sonnenlicht ein Aggregat von Systemen parallelen Lichts, deren Centra auf einer kreisförmigen Scheibe von 32 Minuten Kleifung [1]) liegen und demnach Richtungsdifferenzen bis zu 32 Minuten darbieten. Je geringer nun überhaupt diefs Maximum der Richtungsunterschiede ist, welche an einem gegebenen Orte unter den dahin gelangenden Strahlen vorkommen, desto mehr wird sich das Aggregat von homocentrischen Systemen einem einzigen System nähern. In vielen Fällen kann das Licht von solchen Planeten, deren Durchmesser $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Minuten hält, als ebenso einfach homocentrisch betrachtet werden, wie das von einem Fixstern ausgehende [2]), und für den gegenwärtigen physiologischen Zweck sind Abweichungen von der genauen Homocentricität von noch viel gröfserem Betrag zulässig.

8.

Fällt ins Auge homocentrisches Licht, dessen Centrum in der Nähe der vorderen Brennpunktsebene liegt, so werden die im Innern des Auges verlaufenden Lichtstrahlen gleichfalls homocentrisch aber beinahe parallel sein. Die in den Artikeln 3 und 5 enthaltenen Regeln geben uns in jedem besonderen Fall Auskunft über die Lage des Centrums der Lichtstrahlen im Auge. Liegt der leuchtende Punkt in ge-

---

[1]) so viel als „scheinbarer Durchmesser, scheinbare oder Angular-Gröfse."

[2]) Einen Fall, wo diese Gleichstellung nicht statthaft ist, bietet die bekannte von Arago gegebene, auf der Undulationsansicht beruhende Erklärung des Funkelns der Fixsterne dar.

ringer Entfernung vor der vorderen Focalebene, so erhalten die inneren Strahlen eine geringe Convergenz und das Centrum oder der reelle Vereinigungspunkt liegt in beträchtlicher Entfernung hinter dem Auge. Befindet sich der leuchtende Punkt nahe hinter der vordern Focalebene, so erhalten die inneren Strahlen eine geringe Divergenz und das Centrum oder der virtuelle Vereinigungspunkt liegt in gröfserer Entfernung vor dem Auge. Diese Entfernung wird unendlich grofs, oder das die brechenden Medien des Auges durchlaufende homocentrische Licht wird parallel, wenn der leuchtende Punkt vor dem Auge in der vorderen Brennpunktsebene selbst liegt.

Es stehen verschiedene Mittel zu Gebote, homocentrisches Licht von beträchtlicher Vereinigungsweite im Innern des Auges zu erzeugen. Die in die Nähe der vorderen Brennpunktsebene zu bringende Lichtquelle kann in einer sehr feinen Oeffnung eines 1 oder $1\frac{1}{2}$ Centimeter vor die Vorderfläche der Hornhaut gehaltenen Schirmes bestehen, welche Licht von möglichst gleicher Intensität und Farbe von einem hinreichend ausgedehnten hellen Hintergrunde durchläfst. Zum Schirme dient jeder dunkelfarbige Carton oder ein dünnes geschwärztes Metallblech. Die Oeffnung kann mittelst einer feinen Nähnadel gemacht werden, deren Spitze man in den auf einer glatten Unterlage von hartem Holze liegenden Schirm nur so tief eindringen läfst, als nöthig ist ihn zu durchstechen. Man kann auf diese Art leicht Löchelchen anfertigen, deren Weite $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{15}$ Millim. beträgt. Die Gröfse von etwa $\frac{1}{10}$ Millim. kann als sehr zweckmäfsig empfohlen werden. Als Hintergrund dient bei Tage der blaue oder gleichmäfsig bewölkte Himmel, eine weifse von der Sonne beleuchtete Wand oder Papierfläche, Abends jeder helle die Lichtstrahlen diffundirende Schirm (wie mattgeschliffenes Glas, Milchglas, dünnes oder geöltes Papier), den man in geringer Entfernung hinter den die Oeffnung enthaltenden

dunkeln Schirm hält und von der Rückseite durch eine oder mehrere nah gebrachte Kerzen- oder Lampenflammen nach Bedürfnifs hell erleuchtet.

Man kann ferner jedes reelle oder virtuelle sowohl dioptrisch als katoptrisch erzeugte, sehr verkleinerte Bild eines leuchtenden Gegenstandes von geringer Ausdehnung auf dunkelm Hintergrunde in die erforderliche Nähe vor das Auge bringen. So läfst sich z. B. das kleine virtuelle Spiegelbild einer Lichtflamme auf einer starkconvexen Stelle der glatten Oberfläche eines Fingerrings, auf einer foliirten Glasperle, auf einem kleinen Nadelknopf von dunkelm Glase u. dgl. m. hiezu anwenden. Die Spiegelflächen selbst müssen, da die virtuellen Bilder hinter ihnen liegen, dem Auge desto näher gebracht werden, je geringer ihre Krümmung ist. Ebenso kann man das virtuelle Bild eines kleinen leuchtenden Objects hinter einer Zerstreuungslinse von kurzer Brennweite benutzen. Die durch starke Sammellinsen (Microscop-Objective) oder durch Hohlspiegel von kleinem Krümmungsradius erzeugten reellen Bilder gewähren den Vortheil, dem Auge ohne Gefahr störender körperlicher Berührungen beliebig genähert werden zu können, ja man kann durch Benutzung reeller Vereinigungspunkte das Centrum des einfallenden homocentrischen Lichtes ins Innere des Auges oder hinter dasselbe verlegen, was in besonderen, hier jedoch nicht näher zu berücksichtigenden, Fällen von Interesse sein kann. Endlich können mehrere der erwähnten Mittel so mit einander combinirt werden, dafs, nach Art anderer optischer Werkzeuge, reelle oder virtuelle Bilder wiederholentlich als Objecte zur Erzeugung neuer möglichst kleiner Bilder verwandt werden. Man kann hierzu jedes Fernrohr oder Microscop benutzen, an welchem man die Distanz der Linsen ändert und ihre Plätze vertauscht.

Obwohl die letzterwähnten künstlicheren Vorrichtungen unter besonderen Umständen Vortheile bieten können, so reicht doch für den Hauptzweck das vorerwähnte sehr ein-

fache Mittel, bestehend in einem dunkeln Schirm mit sehr feiner Oeffnung, nicht nur vollkommen aus, sondern es verdient vor jenen auch meist den Vorzug, insofern es frei von manchen, bei Anwendung von Linsen und Spiegeln schwer ganz zu vermeidenden, Mifsständen ist, welche die Reinheit entoptischer Erscheinungen wesentlich beeinträchtigen können. Ich durfte mich daher bei der Angabe jener zusammengesetzteren Mittel, deren Einzelheiten jedem kundigen Leser bekannt sind, hier umsomehr auf kurze Andeutungen beschränken.

Um die Gröfse der Abweichung von der vollkommenen Homocentricität der im Innern des Auges verlaufenden Lichtstrahlen für den Fall zu überschlagen, dafs ein Schirm mit einer kleinen Oeffnung in die vordere Focalebene des Auges gebracht wird, setzen wir die Entfernung des vorderen Brennpunkts vom Knotenpunkt gleich 20^{mm} und die Weite der Oeffnung, wie oben erwähnt, gleich $\frac{1}{10}^{mm}$, dann wird sich das im Auge verlaufende parallele Licht verhalten, wie das von einem leuchtenden Gestirn von gleichem scheinbarem Durchmesser mit der vom Knotenpunkt aus gemessenen kleinen Lichtscheibe in der vorderen Focalebene, d. h. von ungefähr 17 Minuten oder etwas über die Hälfte des Sonnen- oder Monddurchmessers. Die Abweichung von der Homocentricität beträgt also etwa 0,3 Grad, von der man in unserem Falle ganz absehen darf. Beim Näherrücken des Schirmes gegen das Auge wird freilich nach Mafsgabe der Verminderung seiner Distanz vom Knotenpunkt diese Abweichung gröfser und sie müfste, sollte von ihrem Einflufs Rechnung getragen werden, für jeden bestimmten Ort im Auge besonders berechnet werden, insofern das Licht nun nicht mehr parallel, sondern divergent wird, eine Berechnung, welche sich aus den im 3 und 5 Artikel gegebenen Vorschriften leicht von selbst ergibt. Die Abweichung fällt hier desto gröfser aus, je weiter nach vorn im Auge der in Betracht gezogene Ort gelegen ist.

Es verdient hierbei noch angemerkt zu werden, dafs

aus der erwähnten Abweichung von der Homocentricität, oder der gröfsten Richtungsdifferenz unter allen Strahlen, die von einer kreisförmigen Lichtquelle nach einem gegebenen Orte gelangen, ein Mafs für die Unvollkommenheit der Homocentricität gefunden wird, wenn man den halben Durchmesser des leuchtenden Kreises, in Bogenminuten ausgedrückt, quadrirt und durch die Zahl **47 272411** dividirt, wobei als Einheit die vollständige Allseitigkeit des einfallenden Lichtes zum Grunde liegt, wie sie im Innern einer leuchtenden Hohlkugel stattfinden würde. Für unsern obigen Fall einer Abweichung von 17 Minuten wäre hiernach das Mafs der Unvollkommenheit der Homocentricität etwa anderthalb Milliontel.

9.

Gehen wir nun zu den entoptischen Erscheinungen im homocentrischen nahezu parallelen Lichte über.

Zunächst sehen wir ein mäfsig erleuchtetes fast kreisförmiges Feld, den seiner Form nach durch die Pupille bestimmten, sogenannten Zerstreuungskreis. Die meisten Augen gewahren, wenigstens bei einiger Aufmerksamkeit, an dem Umfang desselben kleine Unregelmäfsigkeiten, die oft nur geringe, zuweilen aber auch auffallendere Abweichungen von der Kreisform verursachen und der Grenze ein welliges, eckiges oder buchtiges Ansehen geben. Diese kreisähnliche Gestalt des Zerstreuungskreises ist ein genaues Abbild des Umfangs der Pupille und es ist nach dem im 5 Artikel über die Sehrichtungen Gesagten von selbst klar, dafs wir unsere Pupille in umgekehrter Lage, d. h. in ihrer Ebene um 180° gedreht, im Horopter sehen, so dafs (wie Krankheiten, Mifsbildungen oder Verletzungen der Iris ähnliche Fälle erzeugen können) ein Auge mit Δförmiger Pupille das Zerstreuungsfeld in dieser Form ∇ entoptisch wahrnehmen würde. Das den Kreis umgebende Dunkel ist die

Wirkung des Schlagschattens, welchen das undurchsichtige Diaphragma, oder die Iris sammt der Uvea, im homocentrischen Lichte auf die Netzhaut wirft. Sollte man die scheinbare Gröfse oder die Kleifung des Zerstreuungskreises bestimmen, so hätte man von zwei einander diametral gegenüberliegenden Punkten des auf die Retina fallenden Schlagschattens des Pupillarrandes die Sehlinien durch den Knotenpunkt zu ziehen und den von ihnen gebildeten Winkel zu bestimmen. Setzen wir beispielsweise in einem Auge die Entfernung des Knotenpunktes von der Macula lutea = 15^{mm}, so wird im parallelen Lichte für jedes Millimeter im Durchmesser der Pupille die Kleifung des Zerstreuungskreises 3° $50'$, also z. B. für 4^{mm} Pupillenweite $15^{\circ}\,20'$.

Den bekannten Wechsel in der Gröfse der Pupille kann man sehr leicht entoptisch an den Veränderungen in der Kleifung des Zerstreuungskreises wahrnehmen. Verkürzt man durch Adaptirung die Sehweite, so verkleinert sich, unter übrigens gleichen Umständen, die Pupille und umgekehrt. Augen von geübtem Einrichtungsvermögen erkennen diese Veränderungen als mit dem Willensact nahezu gleichzeitig eintretend, ähnlich wie bei den unter dem directen Einflufs der Willkür stehenden Bewegungen. Aendert man ferner, ohne willkürliche Einwirkung auf den Accommodationszustand, die Intensität des ins Auge fallenden Lichts (etwa durch seitliche Schirme oder durch Abänderung der Lichtquelle selbst), so erweitert sich die Pupille bei abnehmender Lichtstärke und umgekehrt. Endlich läfst sich die consensuelle Reflexbewegung der Iris bequem beobachten, welche durch den Einflufs des Lichtwechsels auf das andere Auge verursacht wird. Oeffnet man das vorher geschlossene andere Auge plötzlich, so nimmt man eine lebhafte Verengerung der Pupille wahr und auf Schliefsen des andern Auges erfolgt alsbald eine Erweiterung. Ursache und Wirkung sind hier durch ein mefsbares Zeitintervall von einander getrennt, und der Verlauf der beiden entgegengesetzten Vor-

gänge scheint wesentlich verschieden zu sein. Bei meinen Augen beginnt die Verengerung meistens 0,4 einer Secunde nach Oeffnung des andern Auges, sie dauert etwa 0,2 Sec. und geht — nach Art schwingender Bewegungen — über den Finalstand hinaus, den die Pupille alsdann erst durch eine mehrere Secunden dauernde geringe Erweiterung allmälig erreicht. Die auf Verschliefsung des andern Auges eintretende Erweiterung erfolgt etwa nach 0,5 Sec., dauert 1 bis 2 Sec. und führt anfangs rasch dann allmälig träger, ohne oscillirend in Verengerung überzugehen, die Gleichgewichtsweite herbei. Schlufs und Oeffnung des andern Auges bewirkt man bei diesem Versuche zweckmäfsiger durch die Hand oder einen Schirm, als durch die Lieder.

Der Schlagschatten des Pupillarrandes und somit auch die Kleifung des Zerstreuungskreises wird gröfser oder kleiner, als bei parallelem Licht, wenn durch geringe Versetzungen der Lichtquelle diesseits oder jenseits der vorderen Brennpunktsebene das Licht im Auge divergent oder convergent wird. Wäre die Lage der Lichtquelle gegen das vordere Focalplanum und die Gröfse der Pupille gegeben, so würde man nach früher gegebenen Regeln das rück- oder vorwärts gelegene Centrum des homocentrischen innern Lichtes bestimmen und alsdann durch leichte Construction die Gröfse des Schlagschattens der Pupille auf der Retina und die Kleifung des Zerstreuungskreises finden, wobei die Entfernung des schattenwerfenden Randes der Iris von der Netzhaut näherungsweise zu 20^{mm} angenommen werden darf.

Die Schärfe der Begrenzung des Schlagschattens — in optischem Sinne — hängt ab von der Breite des Halbschattens, d. h. von der Abweichung des im Auge verlaufenden unvollkommen homocentrischen Lichtes. Für den im vorigen Art. besprochenen Fall einer Abweichung von 17′ wird die Kleifung der Halbschatten-Breite bei einem 20^{mm} von der Netzhaut entfernten Diaphragma fast 23′ und somit für eine 4^{mm} weite Pupille etwa der 40ste Theil des Durchmes-

sers des Zerstreuungskreises. Die Deutlichkeit der Begrenzung — physiologisch genommen — hängt nun zwar von der Unvollkommenheit der Homocentricität ab, wie man sich leicht durch den Versuch mit gröfseren vor das Auge gehaltenen Oeffnungen davon überzeugt. Indefs ist die Undeutlichkeit, bei kreisförmigen Lichtquellen, viel kleiner als die Breite des Halbschattens. Das Auge zählt einen bedeutenden Theil des Halbschattens dem Lichtfelde, einen geringen dem Schattenraume zu, und nur ein kleiner Rest bedingt die Undeutlichkeit der Schattenbegrenzung [1]).

Obgleich sonach die von der unvollkommenen Homocentricität des Lichts herrührende Unbestimmtheit der Schattenbegrenzung nur wenige Minuten beträgt, so erleidet die für den gegenwärtigen Zweck beabsichtigte Schärfe des Schlagschattens auf der Netzhaut doch noch von anderer Seite her einen mehrfachen Eintrag. Es findet aber die hierher gehörige histologische Ungleichförmigkeit der brechenden Medien füglicher bei den nachher zu betrachtenden im Zerstreuungsfelde stattfindenden Erscheinungen ihre Berücksichtigung, und der störende Einflufs physicalischer Momente, als Diffraction und andere Interferenzwirkungen, welche ein reiches Material künftiger besonderer Untersuchungen abgeben werden, läfst sich durch die Wahl passender Mittel, wenn nicht ganz aufheben, doch sehr verringern. Es wird hier vorausgesetzt, dafs man sich nur mäfsig starker Lichtquellen bediene, welche in allen Richtungen gleichstarke und gleichfarbige Strahlen aussenden, und dafs man namentlich das intensive, die complicirtesten Interferenzspectra erzeugende Sonnenlicht vermeide.

---

[1]) Mit diesem Verhältnisse, dessen weitere Verfolgung einer andern Gelegenheit vorbehalten bleiben mufs, hängt bei den Mondfinsternissen sowohl die sehr geringe (scheinbare) Verdunkelung des fast ganz in den Halbschatten eingesenkten Mondes, als der durchgängige Ueberschufs des beobachteten Vollschattens über den theoretischen nahe zusammen.

10.

Die Kleifung des im Gesichtsfeld erscheinenden und nur durch indirectes Sehen in allen seinen Theilen zugleich auffafsbaren Zerstreuungskreises ist gröfser, als der Winkel, um welchen, bei unverrückter Stellung der Lichtquelle gegen die Augenhöhle, die Axe um den Drehungspunkt gedreht wird, wenn wir einen Durchmesser des Zerstreuungskreises von einem Ende bis zum andern visirend durchlaufen. Oder mit andern Worten: der durch eine in der vorderen Focalebene gelegene feine Oeffnung direct sichtbare Theil des Himmels ist kleiner als der indirect gesehene.

Halten wir uns an den Fall des vorigen Artikels, wo für eine 4^{mm} weite Pupille und paralleles (inneres) Licht der scheinbare Durchmesser $15° 20'$ gefunden worden, so finden wir den Durchmesser des durch Visiren oder directes Sehen abreichbaren Theils des Himmels nur $9° 21'$. Durchlaufen wir visirend den Umfang des Zerstreuungskreises, so bewegt sich sein Mittelpunkt in einem Kreise, dessen Radius 3° oder fast 6 Mondbreiten beträgt. Das Centrum der Bewegung liegt dabei zwischen dem direct visirten Punkt des Umfangs und dem indirect gesehenen (mittelst Augenmafses zu schätzenden) Mittelpunkt. Jede Bewegung des Visirpunkts im Gesichtsfelde bringt eine entgegengesetzte des ganzen Zerstreuungskreises hervor. Die letztere ist im Verhältnifs 64 : 100 kleiner als die erstere. Die in diesen Bewegungen enthaltene Parallaxe, welche mit anderen früher erwähnten Parallaxen nicht verwechselt werden darf, hängt von dem gegenseitigen Verhältnifs von vier Gröfsen im Auge zugleich ab, nämlich von der Entfernung der Pupille von der Netzhaut und den drei Entfernungen des Knotenpunktes von der Netzhaut, von dem vorderen Brennpunkt und von dem mechanischen Mittelpunkt des Auges [1]).

---

[1]) Bezeichnen wir diese vier Gröfsen in der aufgeführten Ordnung

Man überzeugt sich leicht durch den Versuch von dieser Parallaxe, wenn man bei ungeänderter Stellung des Kopfes und der Lichtquelle die fraglichen Bewegungen auf einem entfernten Felde bemifst, welches mit festen als Marken dienenden Punkten oder Linien versehen ist. Es kann hiezu der Schirm mit feiner Oeffnung und ein stark beleuchtetes mit dunkeln Linien bezogenes, den Hintergrund bildendes Papier angewandt werden, oder, was zu diesem Zwecke noch bequemer ist, das auf einer kleinen Kugel (Glaskopf einer Nadel) gespiegelte Bild einer Kerzenflamme und ein dunkler Hintergrund mit hellen Punkten oder Linien.

Bei den folgenden Betrachtungen werden wir von der eben erörterten Beweglichkeit des ganzen Zerstreuungskreises absehen, und die in dem Lichtfelde irgendwie wahrnehmbaren Objecte nicht auf feste Punkte des Himmels oder eines Hintergrundes, sondern auf bestimmte Punkte des Zer-

---

durch a, b, c, d, so ist (mit einer in den meisten Fällen genügenden Approximation) das Verhältnifs der Bewegung des ganzen Zerstreuungskreises zu der Bewegung des Visirpunktes $= -\frac{(a-b)c+ad}{bc}$. Da b stets kleiner als a ist, so ist diefs Verhältnifs immer negativ, d. h. die eine Bewegung ist der andern entgegengesetzt. Setzen wir in Millimetern $a=20$, $b=15$, $c=20$, $d=4{,}6$, so ergibt sich für dieses Verhältnifs der oben angegebene Werth $-0{,}64$. Die Bewegung des Visirpunktes zwischen zwei bestimmten Punkten des Zerstreuungskreises verhält sich zur Kleifung zwischen beiden Punkten, wenn der Visirpunkt ruht, wie $\frac{bc}{a(c+d)}$ zur Einheit. Für die angeführten numerischen Werthe wird diefs Verhältnifs 0,61 und der direct sichtbare Theil des Himmels verhält sich zum indirect gesehenen, wie 37 zu 100. Diese Bestimmungen beruhen auf der Voraussetzung, dafs die Lichtquelle in der vorderen Brennpunktsebene liege und das Auge für paralleles äufseres Licht adaptirt sei. Der Vorgang ist für mäfsige Abweichungen von diesen Voraussetzungen wesentlich derselbe und nur in numerischer Hinsicht anders. Eine allgemeinere Entwickelung jedoch, so sehr sie für andere Fragen von Interesse wäre, kann bei unseren gegenwärtigen Betrachtungen füglich entbehrt werden.

streuungskreises selbst beziehen. Sind wir auch hierbei zunächst nur auf das Augenmafs und die Kunst der Vergleichung während indirecten Sehens angewiesen, insofern wir das Diaphragma im lebenden Auge nicht wie im Fernrohr mit einem Fadennetze ausstatten können, so reicht doch hier schon meistens eine mäfsige Uebung und Fertigkeit aus. Zuvörderst ist der durch Schätzung leicht auffafsbare Mittelpunkt des Kreises als ein solcher fixer Punkt zu betrachten. Durch ihn zieht man in Gedanken leicht einen verticalen und einen horizontalen Durchmesser. Ferner ist der Umfang neben diesem eingebildeten Fadenkreuze gleichsam als Kreismicrometer anwendbar, wobei indefs die im vorigen Art. besprochenen Veränderungen, welche von Erweiterung oder Verengerung der Pupille herrühren, nicht aufser Acht bleiben dürfen.

11.

Bringen wir in den zwischen der Lichtquelle und der Hornhaut befindlichen wirksamen Strahlenkegel divergenten homocentrischen Lichtes einen kleinen Körper, so mufs ein Schlagschatten desselben in aufrechter Stellung auf der Netzhaut entstehen und der Körper wird in umgekehrter Stellung gleichsam silhouettirt im Zerstreuungskreise erscheinen. Der bekannte Versuch mit einer Stecknadel läfst sich mit einem Glasmicrometer, mit gewebten Stoffen (wie Bobbinnet u. dgl.) mit organischen Objecten (wie Holzdurchschnitten, Insectenflügeln, u. s. w.) anstellen. Auf dieselbe Weise werden die Wimpern und selbst die Augenbrauen unseres eigenen Auges sichtbar. Fig. 12 stellt die im Zerstreuungskreise wahrgenommenen Wimpern des obern Augenliedes dar. Der untere Theil des Lichtfeldes ist durch das niedergesenkte Augenlied selbst verdunkelt. Die zwischen je zwei Wimperhaaren über diesen Schattenraum nach unten sich erstreckenden Lichtstreifen rühren von der Zerstreuung des Lichts

an der durch Capillarität stark concav gestalteten Oberfläche der Thränenfeuchtigkeit am Augenliedrande her. Diese Lichtstreifen treten bei intensiver Lichtquelle sehr stark und in bedeutender Verlängerung nach unten hervor, im Sonnenlichte zugleich mit unregelmäfsigen aber brillanten Dispersions- und Interferenzwirkungen. Kehrt man die Zeichnung um, so hat man das vergröfserte Bild des vor der Pupille stehenden Theils der obern Wimpernreihe [1]) in natürlicher Lage. Dieses Augenwimpernbild ist es, welches wir oft bei Fernröhren oder Microscopen durch schnelles und unbewufstes Blinzeln oder durch Einbiegen der Wimperhaare an der Ocularfassung für Augenblicke gewahr werden, und welches den Unkundigen nicht selten im Gebrauch solcher Werkzeuge stört. Hier glaubte ich seiner erwähnen zu dürfen, um den ungeübten Beobachter vor Verwechselungen dieser Erscheinung mit entoptisch gesehenen Binnenobjecten des Auges zu warnen. Man verhütet dieses Schattenbild leicht durch angemessenes Oeffnen der Lieder oder durch geringes Rückwärtsbringen des Kopfes.

12.

Die im vorigen Artikel erwähnte Art von Erscheinungen (von Objecten zwischen dem Auge und der Lichtquelle) bei Seite gesetzt, nehmen wir nun bei homocentrischem, nahezu parallelem innern Lichte verschiedenartige, theils veränderliche, theils beharrliche Gegenstände im Zerstreuungsfelde wahr. Die veränderlichen kehren fast bei allen Augen in ähnlicher Weise ebenso häufig als regellos wieder; die beharrlichen, welche unsere Aufmerksamkeit vorzugsweise in Anspruch nehmen sollen, bieten in mehrfacher Hinsicht bei verschiedenen Augen grofse Verschiedenheiten dar. Wir betrachten zunächst die ersteren, aber nur so weit, als zur

[1]) an meinem eignen linken Auge.

gehörigen Unterscheidung zwischen ihnen und den letzteren nöthig scheint.

Zu den veränderlichen Erscheinungen gehören

1. die sogenannten fliegenden Mücken (*myodes, muscae volitantes, mouches volantes*). Vorzugsweise sind hierher zu zählen die einzeln und sporadisch auftretenden, die ordnungslos zusammengruppirten und die zu perlschnurartigen Filamenten aneinandergereihten kleinen kreisförmigen Scheibchen mit hellem Innern und dunklem, bei intensivem Lichte mit diffractorischen Farbenringen umgebenem Contour. Die Kleifung der einzelnen Perlen variirt von 3 bis 8 Minuten und die meisten sind 5 bis 6 Minuten grofs. Diese Scotome, welche in der neuern Zeit die Aufmerksamkeit der Aerzte, Physiologen und Physiker vielfach in Anspruch genommen haben, müssen, da sie im diffusen wie im homocentrischen Licht fast in gleicher Weise und nur wenig ungleicher Frequenz erscheinen, von entoptisch wahrnehmbaren organischen Gebilden herrühren, welche in sehr geringer Entfernung von der Retina, sei es zwischen ihr und der Hyaloidea, sei es in sackförmigen Abtheilungen der hintersten Lagen des Glaskörpers, befindlich sind. Ihre Gruppen bieten eine grofse Veränderlichkeit in der gegenseitigen Lage der Bestandtheile nach allen Dimensionen des Raumes dar. Ihre Ortsveränderungen im Auge aber sind sehr beschränkt, wie aus der leicht zu beobachtenden Eigenthümlichkeit gefolgert werden mufs, dafs sie sich im Gesichtsfelde immer nahe zu gleichsinnig mit dem Visirpunkte bewegen, also ihre Elongationen nur wenig ändern. Sie werden fast von allen Augen, nur in sehr verschiedener Anzahl gesehen. Ihre Veränderlichkeit selbst ist sehr verschieden. Eine plötzliche Drehung des Auges, Wendung des Kopfes oder sonstige heftige Bewegungen sind oft im Stande, ihre Gruppirung und ihre Stellung zum Centraltheil der Netzhaut ganz auffallend zu verändern, während wiederum nicht selten ein Auge dieselbe Gruppe Stunden, Tage und selbst Jahre lang nur we-

nig verändert sieht [1]). Die Untersuchungen über den Sitz und die physiologische Bedeutung dieser Gebilde sind zur Zeit noch nicht geschlossen, und umsomehr darf hier, wo nur auf das Vorkommen dieser leicht kenntlichen Scotome im Zerstreuungskreise des homocentrischen Lichts hat aufmerksam gemacht werden sollen, des Näheren auf die Erörterungen namentlich von Brewster verwiesen werden [2]).

2. Die von der natürlichen Benetzung der Hornhaut herrührenden Erscheinungen. Bei wiederholtem Schliefsen und Oeffnen des Auges nehmen wir häufig die ungleichförmige Vertheilung der Thränenfeuchtigkeit wahr, welche durch Capillarität und Viscosität an der glatten Oberfläche der Hornhaut haftet. Bei dem Art. 11 erwähnten Versuch kann man leicht durch kleine Bewegungen des halb gesenkten Augenliedes das wall- oder wulstförmige Aufstauen der viscosen Feuchtigkeit an den gebänderten Streifen oder Wasserlinien beobachten, welche unmittelbar nach der Verschiebung in geringen Entfernungen von dem Augenliedrande entstehen und alsbald, je nach dem Grade der Schleimhaltigkeit des feuchten Ueberzugs, schneller oder langsamer durch allmälig gleichförmigere Vertheilung wieder verschwinden. Diese Erscheinung ist im unteren Theil des Zerstreuungskreises in Fig. 13 dargestellt, wie sie sich nach schnell ganz geöffnetem Auge beobachten läfst. Man sieht ferner im Lichtfelde oft nach dem Blinzeln wolkige und unbestimmt begrenzte lichtere und dunklere Stellen, welche meist eine

[1]) So hat schon i. J. 1780 Meister einen Fall von 24jähriger Beharrlichkeit ähnlicher Scotome berichtet. Die auffallenderen hatten, wie aus seinen Angaben hervorgeht, eine Gröfse von 7 bis 8 Minuten (Götting. Magazin für Wissensch. u. Litt. Jahrg. 1, Stück 4, S. 131.).

[2]) Brewster „*on the optical phenomena, nature and locality of Muscae Volitantes; with observations on the structure of the Vitreous Humour, and on the Vision of objects placed within the eye*“ in Trans. of the Roy. Soc. of Edinburgh vol. XV. part III. pag. 377. — Vgl. auch Ruete's Lehrbuch der Ophthalmologie S. 145.

selbstständige Bewegung von oben nach unten zeigen, dabei aber oft zusehends zerrinnen und verschwinden. Sie rühren von sehr geringen Ungleichheiten in der Dicke der feuchten Schicht und der davon abhängigen wellenartig vertheilten Ungleichförmigkeit in der Lichtbrechung an der Hornhautoberfläche her. Endlich nimmt man häufig wassertropfenähnliche helle Punkte wahr, umgeben von einem gröfsern etwas dunkleren Hof, welche sich beim Oeffnen des Auges meist sehr rasch im Zerstreuungsfelde abwärts bewegen. Sie entstehen durch capillare Anhäufungen der feuchten Schicht rings um und auf einzelnen Schleimklümpchen oder mechanisch eingemischten, fremdartigen feinen Körperchen, Staubtheilchen u. dgl. Die auf der Cornea so entstehenden localen meniscusartigen Erhöhungen wirken wie kleine Sammellinsen im Sonnenschein und geben im beleuchteten Theil auf der Retina ein nahezu deutliches und umgekehrtes Bild der Lichtquelle inmitten eines schattigen Raumes, welcher der Ausdehnung der kleinen Ungleichheit entspricht. Bei einem Schirm mit dreieckiger Oeffnung (wie man sie leicht mit einer Zirkelspitze sticht) erscheint jeder Tropfen mit einer dreieckigen centralen Lichtfigur in gleicher Stellung, wie die Oeffnung, und ebenso werden zwei oder drei kleine, sehr nahe stehende Oeffnungen von jedem Tropfen in aufrechter Stellung wiederholt, woraus die verkehrte Stellung der auf der Retina liegenden Bilder folgt. Die Bewegung nach unten aber rührt von einer wirklich nach oben gehenden Bewegung her, die das aufwärts gezogene Augenlied unter wesentlicher Mitwirkung der Viscosität des schleimigeren Theils des Ueberzugs verursacht. Die wolkigen und tropfenähnlichen Erscheinungen sind im oberen Theil des Lichtfeldes der Fig. 13 versinnlicht. Der sehr bewegliche flüssige Ueberzug der Vorderfläche des Augapfels, der bei jedem Augenliedschlage gleichsam neu gewebt wird und aus den, ihrem Viscositätsgrade nach sehr verschiedenen, Secreten der Bindehaut, der Meibom'schen Drüsen in den

Liedern, der Ciliar-Haarbälge und der Thränendrüsen zusammengesetzt ist, bietet je nach den verschiedenen physiologischen und pathologischen Zuständen des Auges grofse Verschiedenheiten dar, und so dürfte die entoptische Beobachtung dieses Befeuchtungsmechanismus, bei weiterer Verfolgung, sowohl für den Physiologen als für den Arzt nutzbar werden.

3. Die durch mechanischen Druck des Augapfels kraus gewordene Vorderfläche der Hornhaut. Wenn das Auge vor der Beobachtung eine Zeitlang geschlossen und von vorn mit den Fingern gedrückt oder gerieben worden war, so zeigt das ganze Zerstreuungsfeld aufser den bisher betrachteten schneller wechselnden Erscheinungen eine ziemlich gleichförmig vertheilte Verschleierung von gröfseren und unbestimmt begrenzten, dunkelen Flecken und Linien, welche tapetenmusterartig bald ein getiegertes, bald ein netzartiges, bald ein geschlängeltes oder welliges Ansehen darbieten. Während der Bewegungen der Augenaxe behalten die Bestandtheile dieses grobmaschigen Gewebes ihre gegenseitige Lage und verschieben sich dabei merklich im Zerstreuungskreise, oder in dem darin gedachten Fadennetze, nach einer der Bewegungen des Visirpunktes entgegengesetzten Richtung. Wir erkennen darin die durch den äufseren Druck an der convexen Oberfläche der Cornea verursachten Unebenheiten, Kräuselungen, Runzelungen oder Faltungen, welche sich durch wesentliche Modificationen der an dieser Grenzfläche stattfindenden Refractionen entoptisch kund geben. Dieser an der Hornhaut künstlich erzeugte anomale Zustand ist je nach der Dauer des vorhergegangenen Druckes nicht blofs verschieden stark in dem entoptischen Spectrum ausgeprägt, sondern geht auch erst nach kürzerer oder längerer Zeit (zuweilen binnen einer Viertelstunde, in andern Fällen erst nach mehreren Stunden) allmälig ganz vorüber. Verschiedene Richtung und Vertheilung des Drucks scheint verschiedene Arten der Fältelung der Hornhaut nebst der

dünnen darüberliegenden Conjunctiva, und dem gemäfs verschiedenartige Zeichnungen und Gewebemuster in der entoptischen Erscheinung zur Folge zu haben. Die Figuren **14** und **15** stellen beispielsweise zweierlei, an meinem linken Auge verschiedentlich beobachtete Hornhaut-Kräuselungen dar. In Fällen, wo abgegrenzte im Zerstreuungskreise erscheinende Theile der Hornhaut verschiedene Grade der Biegsamkeit und Geschmeidigkeit besitzen, kann diese Beschaffenheit durch die eigenthümliche Verschiedenheit in der Zeichnung ganzer Theile des Gewebes erkennbar werden. Die stärkeren Flexuositäten deuten auf eine gröfsere Geschmeidigkeit der betreffenden Stellen der Hornhautoberfläche. Fig. **16** gibt ein Beispiel, von meinem rechten Auge genommen. Es erscheinen zwei scheibenförmige Stellen der Cornea im Zerstreuungskreise, oben eine gröfsere, deutlicher begrenzte und darunter eine kleinere, schwerer erkennbare, welchen eine gröfsere Rigidität als den angrenzenden Theilen zugeschrieben werden mufs. Es bedarf hier kaum der Erinnerung, dafs diese Stellen auf der Hornhaut die umgekehrte Lage haben. Auf diese Erscheinung, deren schon Young erwähnt hat [1], mufste hier aufmerksam gemacht werden, um bei abwechselnden entoptischen Beobachtungen an beiden Augen vor einer Verwechselung dieses vorübergehenden Zustandes des Auges mit einer wesentlichen oder constanten Eigenschaft zu warnen, einem Irrthum, in welchen der unkundige Beobachter leicht verfällt, wenn er beim Schliefsen des unthätigen Auges einen Druck durch die Finger auf dasselbe ausübt, und alsdann zu einem Versuche mit diesem Auge übergeht. Man vermeidet in solchen Fällen den störenden Druck auf das passive Auge, wenn man es mit der flachen Hand statt mit den Fingern geschlossen hält.

Aufser den drei aufgeführten Arten veränderlicher ent-

---

[1]) A course of lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts, vol. II. pag. 581.

optischer Erscheinungen im Zerstreuungskreise, welche, wie es scheint, fast von allen Augen, nur mit graduellen Verschiedenheiten, wahrgenommen werden, gibt es nun noch mehrere andere, die nur in wenigen Augen vermöge besonderer Eigenthümlichkeiten oder pathologischer Zustände vorkommen. Eine genauere Analyse, zu der die hier erörterte Beobachtungsmethode ein zweckmäfsiges Mittel darbietet, ist mir, weil in meinen Augen derartige Erscheinungen fast ganz fehlen und die von andern Augen entnommenen Thatsachen noch zu mangelhaft sind, zur Zeit nicht möglich gewesen, und bleibt daher den künftigen Untersuchungen von Seiten kundiger Beobachter vorbehalten, deren Augen die erforderlichen Eigenthümlichkeiten besitzen. Es sind dahin namentlich die Fälle zu rechnen, wo sich in der wäfsrigen Feuchtigkeit filamentöse, membranöse oder sonstwie gestaltete organische Gebilde, Rudimente u. dgl. [1]) befinden, welche in der vorderen Augenkammer ganz frei, oder nur theilweise an der Wandung haftend, umherschwimmen, und durch mechanische Einwirkungen, wie Wendung des Auges, Erschütterung des Kopfes, zufällig in den wirksamen Strahlencylinder treten und so, wenn sie diaphan sind, durch Verschiedenheit ihres Brechungsverhältnisses von dem der umgebenden Flüssigkeit, oder aber durch eigenthümliche Färbung und Opacität entoptisch wahrnehmbar werden. Solche in der wäfsrigen Feuchtigkeit flottirende Körper werden alsdann Scotome verursachen, die sich von den oben beschrie-

---

[1]) Fälle, wie die von Wilh. Sömmerring (Isis 1830. S. 717) und Logan (case of Animalcule in the Eye of a child 1833) beschriebenen, von Binnenthieren in der vorderen Augenkammer, die indessen gewifs sehr selten sind, würden gleichfalls hierher gehören. In den übrigen wenigen Fällen von Thieren in den brechenden Mitteln des menschlichen Auges, welche v. Nordmann (Mikrographische Beiträge zur Naturgeschichte der wirbellosen Thiere, Heft I. S. 7 und Heft II. S. IX) aufgezeichnet hat, sind die Entozoen im Innern von ausgezogenen Staarlinsen gefunden worden.

benen gewöhnlichen Mouches volantes sowohl durch Form und Beweglichkeit, als vorzüglich durch einen hohen Grad von Undeutlichkeit bei gewöhnlichem Sehen im nicht homocentrischen Licht unterscheiden. Wir werden im Folgenden noch zu gelegentlichen Bemerkungen über einige in diese Classe zu zählende Phänomene Veranlassung finden.

13.

Wir betrachten nunmehr die beharrlichen entoptischen Erscheinungen im Zerstreuungsfeld des nahezu parallelen homocentrischen Lichtes.

Wegen der Frequenz und der Mannigfaltigkeit der in jedem Auge wahrnehmbaren veränderlichen Erscheinungen ist zur Entdeckung beharrlicher Binnenobjecte des Auges zuvörderst eine länger fortgesetzte und öfter wiederholte Beobachtung erforderlich, denn nur dadurch wird es gelingen, das Bewegliche und Wandelbare von dem Bleibenden gehörig zu unterscheiden und abzusondern. Hat sich der Beobachter erst durch hinreichende Wiederholung des Versuchs mit dem seinem Auge eigenthümlichen constanten entoptischen Schattenbild vertraut gemacht, so wird er auch bald im Stande sein, unter Berücksichtigung der zu Ende des Artikels 10 gemachten Bemerkungen, die Stelle der gesehenen Objecte oder einzelner Theile derselben in dem eingebildeten Fadenkreuz des Zerstreuungskreises näher zu bestimmen und so gleichsam topographisch festzustellen. Es wird alsdann nur von der Uebung des Augenmafses und der Fertigkeit im Nachzeichnen abhängen, ob es ihm gelingt, das Gesehene naturgetreu abzubilden; und diefs wird unter sonst gleichen Umständen hier, wo man sich das Original jederzeit nach Belieben wieder vorführen kann, viel leichter sein, als eine Darstellung veränderlicher und vorübergehender Erscheinungen; gleichwie zum Nachzeichnen todter Gegenstände unter dem Microscop viel weniger Kunst erfor-

derlich ist, als zur richtigen Auffassung und graphischen Fixirung beweglicher oder lebendiger Objecte. Ein bei objectiv gesehenen Linien oder Körpern brauchbares Erleichterungsmittel wird hier seine Anwendbarkeit fast ganz versagen. Bedient man sich zur Herstellung der Lichtquelle eines (mehrfach erwähnten) sehr kleinen convexen Spiegels, so würde sich von den constanten entoptischen Figuren eine Zeichnung, wie mittelst der Camera lucida, durch mechanisches Nachzeichnen der auf den Hintergrund oder das Papier durch die Visirlinien projicirten Umrisse anfertigen lassen, hätte nicht, wie im Art. 10 gezeigt ist, der ganze Zerstreuungskreis eine von der Bewegung der optischen Axe abhängige Beweglichkeit. Ständen die Verschiebungen nicht blofs aller Punkte des Zerstreuungskreises, sondern auch aller in ihm wahrnehmbaren constanten Objecte zu den Bewegungen des Visirpunktes in einerlei Verhältnifs, so würde zwar, theoretisch genommen, eine dem Gesehenen ähnliche Zeichnung in verkleinertem Mafse [1]) auf die erwähnte Weise zu Stande kommen können, in der jeder Punkt direct gesehen mit dem abgebildeten Punkte coincidiren würde, deren practische Ausführung indefs wegen Nichtcoincidenz aller seitlich vom Visirpunkt liegenden Theile selbst für den geübten Zeichner sehr schwierig bleibt. Das Bild würde aber vollends ein unähnliches werden müssen, sobald, was in der That vorkommt, jenes Verhältnifs nicht für alle Objecte mit dem des Zerstreuungskreises übereinstimmt. Doch wird man in manchen Fällen von diesem Princip mit Erfolg Gebrauch machen, indem man zum Behuf des Messens statt einer Papierfläche zum Zeichnen eine passend eingerichtete Scale in den Hintergrund bringt.

---

[1]) Für die in der Anmerkung zu Art. 10 angewandten numerischen Werthe im (linearen) Mafsstabe von 0,61.

14.

Befinden sich an bestimmten Orten im Auge auf dem Wege, welchen die zu einem System nahezu parallelen homocentrischen Lichtes gehörigen Strahlen durchlaufen, undurchsichtige Körper oder solche durchsichtige, deren Brechungsindex von dem des benachbarten Mediums verschieden ist, so müssen solche Körper auf bekannte Weise durch Schlagschatten oder durch partielle Ablenkungen der Strahlen im Auge wahrnehmbar werden. Setzen wir zuvörderst die Lichtquelle in den vorderen Brennpunkt, so wird (bei concentrischer Diaphragma-Oeffnung) der Visirpunkt in der Mitte des Zerstreuungskreises liegen und alle inneren Strahlen werden mit der Axe parallel gehen. Nennen wir diese Stellung der Axe zur Lichtquelle die erste, um sie von einer andern, der zweiten zu unterscheiden, in welche durch Bewegung des Augapfels um den festen Drehungspunkt die Axe versetzt wird, wenn wir den Visirpunkt an eine bestimmte aufser der Mitte gelegene Stelle des Zerstreuungskreises verlegen. Es stelle Fig. 17 in einem verticalen Durchschnitt des Auges QAS die erste Grenzfläche, II' die Pupille, RLT die Retina und AL die Axe vor. In der ersten Stellung der Axe zur Lichtquelle sind QR und ST die Grenzstrahlen des zur Axe parallelen inneren Lichts. Nehmen wir nun auf der Axe drei Oerter M, M', M'' an, in welchen sich schattenwerfende Körper befinden, der erste in der Ebene des Diaphragmas, der zweite vor, der dritte hinter derselben, so werden in dieser ersten Stellung des Auges die drei opaken Körper nur Einen Schatten in die Mitte L des auf der Retina liegenden beleuchteten Feldes RT werfen und entoptisch als ein einziges Object in der Mitte des Zerstreuungskreises erscheinen. Sind ferner für die zweite Stellung des Auges, die z. B. durch niederwärts gehende Bewegung des Visirpunktes herbeigeführt sein mag, gr und st die Grenzstrahlen, so werden nunmehr die drei

Körper M, M', M'' drei verschiedene Schattenstellen l, l', l'' auf der Retina erzeugen, und somit jetzt getrennt erscheinen, während sie bei der ersten Stellung zusammenfallen. Ein Blick auf die Figur (unter Berücksichtigung der verkehrten Lage der Netzhautbilder) läfst leicht erkennen, dafs in beiden Stellungen der Körper M in der Mitte des Zerstreuungskreises erscheint, die beiden andern aber beim Uebergang aus der ersten in die zweite Stellung eine Versetzung im Zerstreuungskreise, M' nach oben und M'' nach unten, erleiden. Diese Ortsänderungen würden bei aufwärtsgehender Bewegung des Visirpunktes die entgegengesetzten sein. Aehnliche Schlüsse gelten für solche Objecte, welche nicht in der Axe liegen. Es ergibt sich hieraus, dafs die beharrlichen Binnenobjecte je nach ihrer Entfernung von der Ebene des Diaphragmas Veränderungen in ihrer scheinbaren Lage unter sich und gegen den Zerstreuungskreis durch die Bewegungen des Visirpunktes erleiden, dafs nämlich alle hinter der Pupille befindlichen Objecte eine, mit den Bewegungen des Visirpunktes gleichsinnige, alle vor der Pupille stehenden aber eine entgegengesetzte Bewegung im Zerstreuungskreise zeigen, und dafs nur Objecte in der Ebene der Pupille von diesem Einflusse frei sind. Nennen wir diese von den Bewegungen des Visirpunktes abhängige Lagenänderung eines entoptisch wahrnehmbaren Objectes im Zerstreuungskreise seine relative entoptische Parallaxe, so läfst sich das eben Gesagte auch so aussprechen: *die relative entoptische Parallaxe ist Null für Objecte in der Ebene der Pupille, positiv für Objecte hinter und negativ für Objecte vor der Pupillarebene.* Ihre Gröfse [1]) ist na-

[1]) Man findet den Betrag dieser Parallaxe leicht aus dem in der Anmerkung des Artikels 10 gegebenen Ausdruck für das Mafs der absoluten parallattischen Bewegung des ganzen Zerstreuungskreises. Es sei e die Entfernung eines entoptisch wahrnehmbaren Objects von der Ebene der Pupille, positiv, wenn das Object hinter dieser Ebene liegt,

hezu der Bewegung des Visirpunktes und der Entfernung des Objects von der Ebene des Diaphragmas proportional. Für Objecte in der Hornhaut, etwa 3^{mm} vor der Pupillarebene liegend, beträgt sie nahe $\frac{1}{7}$, für Objecte an der Hinterseite der Krystalllinse, etwa 5^{mm} hinter der Pupille, $\frac{1}{4}$ der Bewegung des Visirpunktes. Im ersten Falle sind die Bewegungen entgegengesetzt, im zweiten gleichsinnig. Für Objecte an der vorderen Linsenkapsel-Membran, deren Distanz von der Ebene der Pupille kaum $\frac{1}{2}$ Millimeter beträgt, ist diese Parallaxe so klein, dafs sie dem geübtesten Augenmafse entgehen wird. Solche Objecte, namentlich in der vorderen Kapselmembran befindlich, werden also in Augen, in welchen sie sich vorfinden, ganz die Stelle eines Fadennetzes vertreten und die Beobachtung der relativen Verschiebungen anderer, namentlich in der Hornhaut oder in der

---

in demselben Mafse, wie die Gröfsen a, b, c, d gemessen, so findet man aus dem Ausdrucke $-\frac{(a-b)\,c+ad}{bc}$, der auch so geschrieben werden kann $1-\frac{a\,(c+d)}{bc}$, durch Substitution von $a-e$ statt a das Mafs für die absolute Parallaxe des Objects $=1-\frac{(a-e)\,(c+d)}{bc}$ und mithin den Ueberschufs dieses Mafses über das auf den Pupillarrand bezügliche $=\frac{e\,(c+d)}{bc}$. Die absolute Bewegung des Visirpunktes ist aber, wie früher erwähnt, im Verhältnifs $\frac{bc}{a\,(c+d)}$ kleiner, als die relative im Zerstreuungskreise. Folglich ist das Verhältnifs der Bewegung des Objects zu der des Visirpunktes, beide Ortsveränderungen relativ — gegen das im Zerstreuungskreise gedachte Fadennetz — bemessen, oder das Mafs der relativen entoptischen Parallaxe $=\frac{e}{a}$. Das Vorzeichen stimmt mit dem von e überein. Für den a. a. O. gewählten numerischen Werth der Distanz des Diaphragmas von der Retina wird dieses Mafs (unter den dort zu Grunde liegenden Voraussetzungen und in ähnlicher Approximation) gleich dem Verhältnisse der in Millimetern ausgedrückten Entfernung e des Binnenobjects zur Zahl 20, und die Parallaxe selbst gleich der mit diesem Verhältnifs multiplicirten relativen Angularbewegung des Visirpunktes im Zerstreuungskreis.

Krystalllinse mehr nach hinten liegender, beharrlicher Binnenobjecte erleichtern. Fänden sich in einem Auge wahrnehmbare Objecte, welche feste Plätze im Glaskörper, an bestimmten Punkten der Scheidemembranen, besäfsen, so würde ihre (positive) Parallaxe sehr merklich ausfallen und zwischen dem vierten Theil und dem ganzen Betrag der Visirpunkts-Bewegungen enthalten sein. Die gröfste Parallaxe dieser Art zeigen, abgesehen von ihrer eigenthümlichen Bewegung, die gewöhnlichen im Art. 12 besprochenen Mouches volantes, welche sich in der Regel in sehr geringen Entfernungen von der Netzhaut befinden. Sie begleiten meistens den Visirpunkt bei seinen Bewegungen fast ganz gleichen Schrittes, so dafs sich ihrer wenige, die zufällig vor die Macula lutea treten, durch directes Sehen, die meisten aber nur indirect percipiren lassen.

Während das Spectrum der im Zerstreuungskreise gesehenen beharrlichen Binnenobjecte die Vertheilung in den zur Axe senkrechten Dimensionen unmittelbar kund gibt, besitzen wir also in der relativen entoptischen Parallaxe ein diagnostisches Hülfsmittel für die approximative Bestimmung der Vertheilung in der Dimension der Axe selbst. Diese Diagnose wird freilich wegen der mit zunehmender Elongation sehr rasch abnehmenden Schärfe des Sehens in der Umgebung des Visirpunktes und wegen der Unsicherheit des auf einen gröfseren Bezirk aufser der Axe auszudehnenden Augenmafses viel schwieriger sein, als die im Art. 13 besprochene Auffassung, und daher im Allgemeinen nur von beschränkter Anwendbarkeit bleiben. Vielleicht aber dürfte ihr nichts desto weniger in einzelnen günstigeren Fällen, zumal wo sie eine Verknüpfung mit anderweitigen anatomischen oder pathologischen Thatsachen gestatten sollte, aufser ihrem theoretischen Werth auch einige practische Bedeutung zugestanden werden können. Im Folgenden wird diese relative Parallaxe noch öfter wesentliche Berücksichtigung finden.

15.

In den Figuren 18 bis 43 ist nun eine Reihe beharrlicher entoptischer Spectra von verschiedenen Personen dargestellt [1]). Schon bei einem flüchtigen Blicke fällt die grofse

---

[1]) Ich habe die Figuren blofs nach alphabetischer Ordnung der Beobachter auf einander folgen lassen und diefs jeder künstlichen Classification, durch welche die Augen Eines Individuums von einander getrennt würden, und welche bei einer so geringen Zahl von Beobachtungen zur Zeit noch ganz werthlos erscheinen müfste, vorgezogen. Die Namen der Beobachter (nebst Angabe des Geburtsortes) sind:

Fig.	18	Hr.	Professor *Bergmann* (Göttingen)
„	19	„	Dr. *Casselmann* (Rinteln)
„	20	„	Architect *Cavallari* (Palermo)
„	21	„	Dr. *Claudius* (Lübeck)
„	22	„	Lieutenant *Dammers* (Eimbeck)
„	23	„	*C. Guthe* (Andreasberg)
„	24	„	Stud. *G. Guthe* (Andreasberg)
„	25	„	Dr. *Krämer* (Göttingen)
„	26	„	*Lier* (Göttingen)
„	27		Prof. *Listing* (Frankfurt a. M.)
„	28	„	Kupferstecher *Loedel* (Hameln)
„	29	„	Dr. *Merklein* (Nürnberg)
„	30	„	Inspector *Meyerstein* (Eimbeck)
„	31	„	Abbé *Moigno* (Paris)
„	32	„	Stadt-Syndicus *Oesterley* (Göttingen)
„	33	„	Stud. *Ringelmann* (Osnabrück)
„	34	„	Professor *Ruete* (Scharmbeck)
„	35	„	Dr. *Sartorius v. Waltershausen* (Göttingen)
„	36	„	Hofrath *v. Siebold* (Würzburg)
„	37	„	Dr. *Stern* (Frankfurt a. M.)
„	38	„	Stud. *Uhlhorn* (Osnabrück)
„	39	„	Professor *Ulrich* (Göttingen)
„	40	„	Assessor *Unger* (Hannover)
„	41	„	Professor *J. Vogel* (Wunsiedel)
„	42	„	Stud. *E. Weber* (Badbergen)
„	43	„	Stud. *H. Weber* (Thedinghausen)

Die Darstellung des linken Auges in Fig. 21 fällt aus, weil dasselbe in Folge eines Linsenstaares seit 16 Jahren ganz erblindet ist. — Die Beobachter von Fig. 23 und 24 sind Gebrüder.

Mannigfaltigkeit und Verschiedenartigkeit dieser Spectra auf, wiewohl eine gewisse Aehnlichkeit zwischen beiden Augen Eines Beobachters oft unverkennbar ist. In jeder Figur sind die Spectra des linken und rechten Auges je eines Beobachters dargestellt und durch die Buchstaben *L* und *R* unterschieden. Es sind hier aus einer viel gröfseren Zahl von Beobachtungen nur solche aufgenommen, welche in kürzeren oder längeren Fristen zum öftern verificirt worden, so dafs über die beabsichtigte Ausscheidung der im 12 Artikel erörterten vorübergehenden entoptischen Phänomene, mit denen manche der beharrlichen auf den ersten Blick grofse Aehnlichkeit darbieten, kein Zweifel obwaltet. Bei manchen umfafst dieser Zeitraum über ein Jahr, bei den auf meine Augen bezüglichen (Fig. 27) etwa $2\frac{1}{2}$ Jahr. Eine hinreichend lange fortgesetzte Beobachtung an einem bestimmten Auge wird über die eventuellen nur nach längeren Zwischenzeiten bemerkbaren und allmäligen Veränderungen der beharrlichen Binnenobjecte Aufschlufs geben können, wie diefs denn in der That an meinem rechten Auge bereits hat geschehen können, Veränderungen, deren Verlauf im Einzelnen zu beobachten offenbar in manchen pathologischen Vorkommnissen nicht blofs ein allgemein physiologisches, sondern auch ein speciell pathognostisches Interesse haben dürfte. Uebrigens ist hier zu erwähnen, dafs sich die mitgetheilten Beobachtungen nur auf gesunde oder solche Augen beziehen, deren Function beim gewöhnlichen Sehen (theils mit, theils ohne Brille) durch keine hervorstechenden Leiden beeinträchtigt ist.

Aufser einem netz- oder florartigen Ueberzuge des ganzen Zerstreuungsfeldes mit meist sehr undeutlichen aber feinen Maschen, der sich in allen der Prüfung unterworfenen Augen gefunden hat, zeigen sich bei 50 unserer 51 Spectra noch besondere Binnenobjecte von bestimmter Zahl und Configuration, und nur bei einem (Fig. 42 *L*) finden wir den Zerstreuungskreis ganz leer, also die brechenden

Mittel (wenigstens im Bereich des durchgelassenen parallelen homocentrischen Lichtes) völlig frei von beharrlichen Binnenobjecten. Man darf hieraus schliefsen, dafs sich bei weitem in den meisten Augen solche Stellen in den brechenden Medien vorfinden, welche den regelmäfsigen Gang einer geringern oder gröfsern Menge von Lichtstrahlen stören. Künftige zahlreichere Beobachtungen werden das (vielleicht kaum 3 Procent betragende) Verhältnifs der Ausnahmen genauer kennen lehren.

Der Nachtheil, der bei gesunden Augen aus dieser Eigenthümlichkeit für die gewöhnliche Sehfunction erwächst, wo sich die regelmäfsig verlaufenden Lichtstrahlen in ganz oder nahezu scharfen Bildern auf der Netzhaut vereinigen, ist ebenso wenig merklich, als wenn sich im Objectivglas eines Fernrohrs kleine partielle Trübungen oder Luftbläschen befinden. Sobald aber die Menge des in dieser Weise absorbirten oder perturbirten Lichts gegen die des unversehrten in ein erhebliches Verhältnifs tritt, so wird daraus unfehlbar eine merkliche Beeinträchtigung erwachsen. Wir sehen hier, wie diefs auch in anderen Fällen nicht ungewöhnlich ist, nur einen quantitativen Unterschied, also keine scharfe Grenze, zwischen normaler und abnormaler Beschaffenheit bestehen. Gerade in den Uebergangsfällen aber und bei allmälig platzgreifenden Erkrankungen scheint die hier in Anwendung gebrachte entoptische Beobachtung des Auges nicht unwillkommene diagnostische Dienste leisten zu können.

16.

Der im Zerstreuungskreise wahrscheinlich jeden Auges wahrnehmbare florartige Ueberzug ist seiner besonderen Beschaffenheit nach nicht in allen Augen gleich. Seine Helligkeit hängt aufser von dem Grade der Durchsichtigkeit der sämmtlichen Medien von der Lichtintensität des leuchtenden Hintergrundes und von dem Verhältnifs der Kleifung der von der

Pupille aus gemessenen feinen Oeffnung des Schirmes zur Kleifung des Zerstreuungskreises ab. Sie ist unter gewöhnlichen Umständen etwa 1600 mal geringer als die des frei betrachteten Hintergrundes [1]). In manchen Augen ist diese Helligkeit im ganzen Zerstreuungsfelde gleichförmig, wie in meinem linken Auge und vielen andern, in manchen ungleichförmig, wie in meinem rechten Auge, oder wie in Fig 28 *R*, Fig. 40 *L* und *R*, Fig. 41 *R*. Diese Ungleichförmigkeit scheint Folge der ungleichförmigen Durchsichtigkeit in den brechenden Medien, namentlich der Hornhaut (mein rechtes Auge) und der Krystalllinse sammt ihren beiden Kapselmembranen zu sein. Die einzelnen mosaikartig erscheinenden aber undeutlich begrenzten und vielfach verwirrten Maschen und Parzellen des florartigen Netzes sind meist von grofser Feinheit (zumal bei sehr gedämpftem Lichte des Hintergrundes und möglichster Beseitigung der Interferenzen) und in dieser Hinsicht wesentlich von denjenigen verschieden, welche man in dem grobgemusterten Art. 12 beschriebenen, durch Fältelung der Hornhaut entstehenden Spectrum (Fig. 14, 15, 16) wahrzunehmen pflegt. Uebrigens bietet dieses Netz mancherlei Verschiedenheiten dar sowohl in Hinsicht der Helligkeit, Gleichartigkeit und Regelmäfsigkeit, als auch rücksichtlich der Deutlichkeit, Gröfse, Form und Lagerung der Elementartheile, wie diefs ohne weitere Auseinandersetzung die Figuren (besonders Fig. 20, 22, 26, 27, 28, 29, 40, 41) hinreichend erläutern. Dieser netzförmige Schleier scheint eine Folge von kleinen Aberrationen zu sein, welche das durchfallende Licht durch sehr geringe aber zahlreiche Unregelmäfsigkeiten in der Krümmung der verschiedenen Grenzflächen zwischen den durchsichtigen Medien des Auges erleiden. Diese Wirkung ist also der

---

[1]) Die Helligkeit des Zerstreuungskreises kann am freien Auge nachgeahmt werden, wenn man den Hintergrund durch einen 16- bis 18fachen schwarzen Krepp (Trauerflor) betrachtet.

ähnlich, welche wir leicht an dem durch eine gewöhnliche, nicht geschliffene Glasscheibe fallenden Sonnenlicht wahrnehmen, wenn wir es auf einer weifsen Fläche auffangen. Die negative relative Parallaxe, welche sich an vielen der bemerkbareren Lichtzellen im Zerstreuungskreise meiner beiden Augen, und zumal des rechten, erkennen läfst, deutet auf die Cornea als Sitz vieler dieser entoptisch sichtbaren und mit der histologischen Beschaffenheit der Grenzflächen in nahem Zusammenhang stehenden Unregelmäfsigkeiten. Zugleich scheinen es diese die erste Refraction afficirenden Ablenkungen vorzüglich zu sein, welche eine auffallende Ungleichförmigkeit in der Vertheilung des innern convergenten Lichts verursachen, wenn man die Distanz der Lichtquelle vom Auge allmälig bis zur Entfernung des Horopters vergröfsert, und so die bekannte (jedem Auge in anderer Weise zukommende) Anomalie der vielfachen Bilder beim uniocularen Sehen diesseits oder jenseits des Horopters bedingen. Wo die Maschen gedehnt und streifig aussehen und dabei eine radiale Anordnung zeigen, wie Fig. 26 *L* und *R*, 40 *L* und *R*, 22 *L*, 28 *L*, scheint die Ursache wesentlich mit in der vorderen Linsenkapsel ihren Sitz zu haben.

Was die im 9 Artikel erwähnten Abweichungen der Begrenzung des Zerstreuungsfeldes von der Kreisform betrifft, welche bei gesunden Augen nur ein untergeordnetes Interesse darbieten, so sind sie beispielshalber in einigen Figuren mitberücksichtigt und von den Beobachtern naturgetreu nachgezeichnet. Diefs ist namentlich der Fall in den Figuren 20, 25, 27, 28, 39, 40. In Fig. 39 *L* sind sie besonders auffallend.

17.

Die beharrlichen Binnenobjecte stellen sich nun auf dem florartigen Hintergrunde des Zerstreuungskreises in sehr verschiedenartigen Zeichnungen dar. Der hohe Grad von Un-

veränderlichkeit, den diese Objecte entoptisch zeigen, scheint mit der Annahme, dafs sie sich in den flüssigen Medien des Auges befinden, unvereinbar. Wir werden sie demnach als der Hornhaut oder der Krystalllinse und ihrer Kapsel angehörig betrachten müssen. Die von der Cornea herrührenden Erscheinungen geben sich entoptisch durch eine merkliche negative Parallaxe (Art. **14**) zu erkennen. Alle diejenigen, welche weder unter einander noch gegen das eingebildete Fadenkreuz des Zerstreuungskreises erkennbare Verschiebungen in Folge der Bewegungen des Visirpunktes erleiden, oder deren relative Parallaxe unmerklich ist, müssen entweder der vorderen Kapselmembran oder der Vorderseite der Krystalllinse zugezählt werden. Weiter nach hinten, also im Innern der Linse oder an der hinteren Kapsel liegende Objecte, die sich als solche durch eine auffallendere positive Parallaxe erkennen liefsen, kommen in den wenigen hier zu Gebote stehenden Erfahrungen nicht vor, werden aber, wie das Vorkommen angeborner hinterer Kapsel-Staare wahrscheinlich macht, vielleicht künftig hin und wieder entoptisch beobachtet werden. Die Zahl der Hornhautobjecte ist bei unseren Beobachtungen sehr gering. Die meisten der beharrlichen Objecte scheinen dem Vordertheil des Systems der Krystalllinse anzugehören.

18.

Wir betrachten zuerst die wenigen Beispiele von Hornhautobjecten, welche die hier mitgetheilten Spectra als solche haben erkennen lassen.

In Fig. **24** *L* erblicken wir einen grofsen runden Flekken. Seine Grundfarbe ist braungelb, die darin enthaltenen Zeichnungen schwarzbraun, der Saum ist hell und, bis auf eine kleine oben links befindliche Unterbrechung, innen und aufsen scharf begrenzt. Er zeigt eine deutliche negative Parallaxe. Seine Stellung in der Figur ist diejenige, welche

ihm für den in seine Mitte versetzten Visirpunkt zukommt. Dieser Hornhautfleck, dessen Gröfse etwa 1,4 Millim. beträgt und von aufsen (objectiv) an dem Auge leicht bemerkt werden kann, ist das Resultat einer Hornhautentzündung, an welcher das Auge ein Jahr vor der entoptischen Beobachtung gelitten hatte.

Fig. 27 *R*. Das Spectrum meines rechten Auges zeigt zwei fast kreisförmig begrenzte Parzellen des lichten Flores, eine gröfsere oben, eine kleinere unten, ferner einen sehr undeutlichen lichten bogenförmigen Streifen, der die obere Parzelle fast mitten durchsetzt, aber innerhalb noch viel undeutlicher erscheint als aufserhalb, und endlich eine kleinere, rechts von der unteren Parzelle stehende, sehr undeutlich begrenzte leichte Verdunkelung. Diese Erscheinungen geben sich durch eine negative entoptische Parallaxe als der Cornea angehörig zu erkennen. Ihre in der Zeichnung dargestellte Lage gilt für den im Centrum des Zerstreuungskreises liegenden Visirpunkt. Die beiden Parzellen grenzen sich, wenn die Hornhaut von aufsen eine Zeit lang gedrückt gewesen, viel deutlicher ab, wie diefs bereits im Artikel 12 besprochen und in Fig. 16 dargestellt ist. Diese Ungleichheiten in der Zusammensetzung der Hornhaut sind so unbedeutend, dafs sie vielleicht nicht anders als entoptisch wahrnehmbar sind. Sie stören die gewöhnliche Sehfunction nur in sehr geringer Mafse, und dafs dieses Auge in der Fertigkeit des Sehens (nicht in der Schärfe) dem linken etwas nachsteht, möchte mehr von der Gewohnheit herrühren, beim uniocularen Sehen meistens das linke zu gebrauchen, als von diesen kleinen Unregelmäfsigkeiten in dem Bau der Hornhaut. Die Ausprägung dieser Structurverhältnisse der Cornea ist nicht Folge eines Augenleidens, sie hat seit drittehalb Jahren keine merklichen Veränderungen gezeigt und ist wahrscheinlich angeboren. Das rechte Auge enthält keine Spur einer derartigen Erscheinung.

In Fig. 28 *L* zieht sich eine schwarze Linie von un-

gleichförmiger Stärke, dem Sprung in einer zerbrochenen Glasscheibe vergleichbar, von unten rechts nach oben links fast mitten durch das Zerstreuungsfeld. Die Stellung in der Zeichnung entspricht dem Falle, wo die Mitte des Zerstreuungskreises direct gesehen wird. Ist aber die Axe auf den links oben gelegenen hellen Fleck gerichtet, so nimmt der schwarze Streifen die Lage eines Durchmessers an, ein Zeichen, dafs diese feine dunkele Linie in der Cornea liegt. Dieses beharrliche Hornhautobject ist, wie aus dem entoptischen Spectrum leicht zu entnehmen, so zart, dafs es von aufsen nicht zu erkennen ist.

In Fig. 39 *L* befindet sich ein länglicher dunkler Fleck oben im Spectrum. Die Zeichnung stellt ihn an der Stelle dar, die er direct gesehen einnimmt. Durch Verlegung des Visirpunktes an den untern Rand des Lichtfeldes rückt der Fleck allmälig bis an den obern Rand und verbirgt sich zum Theil hinter den hier befindlichen halbinselförmigen Vorsprung der Iris, wie es in Fig. 39 *L'* angedeutet ist. Dieser kleine in der Hornhaut befindliche Fleck scheint von einer vorübergehenden Entzündung herzurühren, die vor 18 Jahren an dem Auge stattgefunden. Gleichen Ursprungs mögen nicht blofs die starken Sinuositäten des Pupillarrandes, sondern auch eine eigenthümliche, veränderliche entoptische Erscheinung in diesem Auge sein. An verschiedenen Stellen des Gesichtsfeldes nämlich erscheint beim gewöhnlichen Sehen ein schattiges undeutliches Scotom, welches einmal, als es zufällig vor die Pupille trat, entoptisch im parallelen homocentrischen Lichte genauer beobachtet werden konnte und in Gestalt (Fig. 39 *L''*) eines thierähnlichen Körpers erschien. Dieses Binnenobject, das Rudiment eines der Resorption widerstehenden Gebildes, schwimmt ohne Anheftung frei in der wäfsrigen Feuchtigkeit umher. Es hat (ohne die filamentösen Anhängsel) etwa 1 Millim. Länge und halb so viel in der Breite.

Es mag bei dieser Gelegenheit noch eine mit dem eben

erwähnten Scotom gewissermafsen verwandte Erscheinung angeführt werden. Sie kann als Beispiel der seltneren entoptischen Phänomene veränderlicher Art betrachtet werden, deren zu Ende des Art. 12 gedacht worden ist. Die Erscheinung durfte, obwohl nicht eigentlich zu den beharrlichen gehörig, in das Spectrum mit aufgenommen werden, insofern das Object, wenn auch in Form und Lage seiner Bestandtheile beweglich, doch einen bestimmten Theil des Zerstreuungsfeldes anhaltend einnimmt. In Fig. 21 *R* ist in dem unten und links liegenden Theil des Feldes ein Convolut von gespinnstartigen und wellenförmigen Lineamenten, die bei den Bewegungen des Auges ihre gegenseitige Lage merklich verändern, im Ganzen aber die in der Figur angedeutete von unten rechts nach oben links gehende Richtung beibehalten. Aus der erkennbaren negativen Parallaxe und der wandelbaren Form darf geschlossen werden, dafs sich in der vorderen Augenkammer ein flottirendes, aber theilweise angeheftetes, filamentöses oder membranöses, sehr durchsichtiges Gebilde der wäfsrigen Feuchtigkeit befinde, dessen Durchsichtigkeit eine andere als entoptische Wahrnehmung (mittelst feiner Oeffnung) unmöglich macht, welches aber mit einem von aufsen bemerkbaren, ganz leichten, weifslichen Sediment in der vorderen Kammer nahe am Hornhautrande in Zusammenhang zu stehen scheint. Uebrigens ist das gewöhnliche Sehen hierdurch fast gar nicht beeinträchtigt. Die auf diesen Theil des Spectrums bezügliche Darstellung in der Figur kann die Erscheinung nur ihrem Habitus nach ungefähr versinnlichen, während die übrigen Theile wie die in anderen Augen genau nachgezeichnet sind. — Mehrfältige anderweitige Erfahrungen leisten der Vermuthung Vorschub, dafs gerade Erscheinungen dieser oder ähnlicher Art für manche Personen die Hauptschwierigkeit bei Fixirung und Nachzeichnung der Spectra ihrer Augen bilden.

19.

Während die Hornhaut der Schauplatz sehr frequenter veränderlicher Erscheinungen ist, wie dies im 12 Artikel des Näheren nachgewiesen worden, bildet sie vergleichungsweise nur selten den Sitz constanter Objecte im entoptischen Spectrum. Dagegen erscheinen die Bestandtheile des Linsenapparats, und vorzüglich die nach vorn gelegenen, als der Sammelplatz bei weitem der gröfsten Zahl der beharrlichen Binnenobjecte. Es zeigen nämlich die zahlreichen jetzt noch zu betrachtenden Objecte unserer Spectra entweder gar keine merkliche oder nur eine sehr geringe positive Parallaxe, und wir können ihnen somit nur an der vorderen Linsenkapsel oder an den vordersten Schichten der Krystalllinse ihre Stelle anweisen, worauf schon vorhin (Art. 17) aufmerksam gemacht worden ist. Für die Wahl aber zwischen Kapsel und Linse gewährt die relative entoptische Parallaxe allein kein sicheres Criterium; dieselbe bleibt daher so lange unentschieden, als nicht anderweitige anatomische und pathologische Merkmale eine sichere Diagnose möglich machen. Die folgende Eintheilung der fraglichen Objecte, so weit sie in den wenigen hier mitgetheilten Erfahrungen vorliegen, nach ihrem verschiedenen entoptischen Aussehen kann sonach nur ein provisorisches Interesse darbieten, und sie wird, sind erst zahlreichere Beobachtungen, namentlich auch pathologischer Fälle, gewonnen und mit anatomischen Thatsachen in Verbindung gebracht, anderen Platz machen, welche auf wesentlicheren Unterschieden beruhen. Wir finden unter den hier in Betracht kommenden Objecten

1. Perlflecken,
2. dunkele Flecken,
3. lichte Streifen,
4. dunkele Linien.

Die Perlflecken sind runde Scheibchen oder rundliche bis ins Eckige übergehende Flecken, innen hell, meist mit

scharfem dunkelm Rande. Die runden gleichen kleinen Luftbläschen, die eckigen kleinen durchsichtigen Krystallstückchen, in einer hellen Flüssigkeit unter dem Microscop bei durchfallendem Lichte betrachtet; die gröfseren rundlichen haben oft Aehnlichkeit mit Oeltropfen, die auf dem Wasser schwimmen. Manche haben einen sehr hellen Lichtkern, der mit mehr oder weniger deutlichen Farben in den dunkeln Rand verläuft. Einige zeigen einen hellen Saum oder Hof, andere nicht. Bei Fig. 30 *R* verläuft der Contour von innen nach aufsen aus dem weifsen Kern durch Gelb, Dunkel- und Hellblau in den umgebenden Flor. Ihre Kleifung ist sehr verschieden, aber selbst die kleinsten erscheinen in der Regel gröfser als die im 12 Art. beschriebenen Scheibchen der Muscae volitantes. Die Gröfse der Binnenkörper kann verschiedentlich von 0,04 bis 0,50 Millim. gesetzt werden. Ihre Vertheilung ist meist sehr regellos im Zerstreuungskreise, und obgleich sich in Augen, wo ihre Zahl grofs ist, zuweilen mehrere bis zur Berührung zusammengedrängt finden, so zeigen sie doch keine Tendenz zur reihen- oder perlschnurförmigen Anordnung. Vgl. Fig. 29, 33, 35, 36, 40, 41, 43. Sie kommen in der Mehrzahl der Augen vor und zwar entweder allein, wie in Fig. 30, oder mit den andern Arten vergesellschaftet, wie in den meisten unserer Figuren. Mein rechtes Auge gibt ein Beispiel von Neubildung solcher Binnenkörper. Die kleine runde Perle dicht unter dem dreitheiligen dunkelen Flecken (Fig. 27 *R*) ist erst vor Kurzem (im Juli 1845) entstanden. Vielleicht dafs ähnliche Erfahrungen künftig öfter gemacht werden. Eine kleine positive Parallaxe ist im Auge Fig. 18 *R* an dem ganz unten befindlichen Perlfleck wahrgenommen worden, der sich gegen den in der Nähe stehenden dendritischen Lichtstreifen in sehr geringer Mafse mit dem Visirpunkt gleichsinnig bewegt.

Die dunkeln Flecken unterscheiden sich von den Perlflecken nicht blofs durch den Mangel eines hellen Kerns,

sondern auch durch gröfsere Mannigfaltigkeit in der Gestalt. Ihr Inneres ist verschieden dunkel, vom Hellgrauen bis ins Schwarze. Ihre Form ist rund oder rundlich (Fig. 18 *R*, 23, 28, 31, 32, 36 *R*, 37, 39 *L*, 40 *L*, 43 *R*) oder eckig, sinuös und mit lappen- oder flügelartigen Ansätzen versehen (19, 31 *L*, 36 *L*, 42 *R*). Zuweilen bilden sie Gruppen, in denen die Zusammensetzungsweise weniger zufällig zu sein scheint, als bei den Perlflecken, und stellen sich dann als drei- oder mehrtheilige Flecken oder Systeme dar (19, 26, 36 *R*, 37 *L*). In seltneren Fällen gehen sie ins Amorphe über (22, 39 *R*). Sie sind, zumal die rundlichen, öfter als die Perlflecken am Rande mit einem lichten Saum versehen (18 *R*, 23 *L*, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 37). Die Gröfse der einfachen Flecken scheint etwas weniger zu variiren, als die der Perlflecken. Die Binnenkörper oder die verdunkelten Stellen können zu 0,04 bis 0,30 Millim. geschätzt werden. Auch ihre Frequenz scheint etwas geringer zu sein, als bei der vorigen Art. Sie kommen nicht blofs allein, wie in Fig. 25 *R* und *L*, sondern auch mit den andern Arten von Objecten zusammen im Spectrum vor und erscheinen oft, sowohl einzeln als gruppenweise, den Lichtstreifen angefügt oder einverleibt (18 *R*, 26, 28, 31, 32, 36 *R*, 37, 40), zuweilen auch mit den Perlflecken verknüpft (22 *L*, 29, 42 *R*). Die dreitheiligen dunkelen Flecken in meinen beiden Augen zeigen eine kleine, aber sicher erkennbare, positive Parallaxe, die sich namentlich in dem linken Auge durch das deutliche Wegrücken von der nahliegenden (neu entstandenen) Perle kund gibt, wenn der Visirpunkt von dem Flecken ab horizontal links gegen die Grenze des Feldes geführt wird. Die Perlflecken haben höchst geringe oder gar keine Parallaxen. Die Zeichnung (Fig. 27) entspricht auch hinsichtlich der Stellung dieser dreitheiligen dunkeln Flecken dem in der Mitte des Zerstreuungskreises befindlichen Visirpunkte.

Die lichten Streifen bilden meist eine Art dendriti-

scher Figur mit einem mehr oder weniger deutlich ausgeprägten Centrum. Sie sind, wie viele Perlflecken, heller als der Flor, gegen den sie bald in ganz unbestimmten (Fig. 20, 26, 28 *R*, 40 *R*), bald aber auch in scharfen dunkelen und stellenweise breitschattigen Umrissen abgegrenzt sind (18, 21 *R*, 32, 37). Ihr Verlauf ist meist krummlinig, aderförmig, in einigen Fällen ring- oder wallförmig das Centrum umschliefsend (21 *R*, 31). Die Zweige sind von sehr verschiedener Länge und können sich über den gröfsten Theil des Zerstreuungsfeldes erstrecken, wie in Fig. 18. Die Breite der mit dunkelen Umrissen versehenen Streifen wechselt 0,08 bis 0,25 Millim. Der Centraltheil der Lichtstreifenfigur liegt meist in der Nähe der Mitte des Zerstreuungskreises, seltner weit davon entfernt (21 *R*, 28 *R*). Eine Parallaxe ist noch nicht beobachtet worden. Die Lichtstreifen kommen vielfach mit Perlen und dunkelen Flecken zugleich im Spectrum vor, aber — in unseren Beobachtungen — nicht mit den seltneren dunkelen Linien [1]). Spectra mit und ohne Lichtstreifenfigur scheinen fast von gleicher Frequenz zu sein.

Die dunkelen Linien endlich unterscheiden sich von den lichten Streifen nicht nur durch dunkeles Aussehen, sondern auch durch geringere Breite, mindere Deutlichkeit und mehr geradlinigen Verlauf. Sie zeigen meist eine radiale Anordnung und scheinen vom Umfang des Zerstreuungskreises gegen ein gemeinsames Centrum hinzuzielen, das manche erreichen, andere aber nicht, indem sie gleichsam unterwegs erlöschen. Vgl. Fig. 23, 24, 27, 35, 38 *L*. Ihre Zahl ist sehr verschieden und mitunter viel gröfser als die Anzahl der Zweige in den Lichtstreifenfiguren, und sie gehen dann, wie die Figur 35 verglichen mit Fig. 40, 41, 22 *L*, 26 und 20 zeigt, allmälig in ein radiales Maschengewebe

---

[1]) Das Spectrum Fig. 28 *L* macht hier keine Ausnahme, da die dunkele Linie, wie im vor. Art. gezeigt, der Hornhaut angehört.

des Flores über. Die dunkelen Linien kommen mit Perlflecken und dunkelen Flecken zugleich vor, ob auch mit Lichtstreifenfiguren, wovon, wie schon vorhin bemerkt, unsere Spectra kein Beispiel zeigen, mufs sich aus zahlreicheren Erfahrungen erst künftig herausstellen.

20.

Ueber die anatomische und physiologische Natur der Binnenkörper, welche die verschiedenen im vorigen Artikel beschriebenen Arten von beharrlichen entoptischen Erscheinungen verursachen, läfst sich zur Zeit noch keine sichere Erklärung geben, ja kaum eine begründete Vermuthung aussprechen. Wissen wir auch im Allgemeinen, dafs sich diese den Gang der Lichtstrahlen beeinträchtigenden Stellen der brechenden Mittel in geringer Entfernung von der Pupille in dem vorderen Theil der Linse oder ihrer vorderen Kapselbekleidung vorfinden, so sind wir doch noch weit davon entfernt, den einzelnen aufgezählten Arten eigenthümliche Sitze und anatomische Bedeutungen beimessen zu können. Die Ansicht, dafs die Lichtstreifenfigur das Bild eines durchsichtigen nabelförmigen Gebildes mit naht- oder wulstähnlichen Zweigen in der vorderen Kapselmembran sei, herrührend von der im Fötalzustande erfolgenden Trennung dieses Kapseltheils von der Innenseite der Hornhaut [1]), mufs ihre Bestätigung oder Widerlegung erst in feineren, zu diesem Zwecke anzustellenden, anatomischen Beobachtungen dieses Organs finden. Von den drei anderen Arten, den hellen und dunkelen Flecken sowie den dunkelen Linien, darf kaum vermuthet werden, dafs sie einzeln nur der Kapsel oder nur der Linse angehören. Vielmehr scheinen einzelne, zum Theil von der relativen entoptischen Parallaxe entnommene, Indicien darauf hinzudeuten, dafs sich durchsichtige aus der Morgagni'schen Feuchtigkeit ausgesonderte

[1]) Vgl. Huschke in Meckel's Archiv 1832. S. 17.

und condensirte (in ihr auch anatomisch beobachtete) Schleimkörperchen sowohl an der vorderen Kapsel als an der Vorderfläche der Linse festsetzen und dann die Erscheinung von Perlflecken bedingen; dafs ferner durch cataractähnliche stellenweise gebildete Verdunkelungen beider Organe, der Kapsel und der Linse, die dunkelen Flecken entstehen können, die alsdann häufig im nahen Zusammenhang einerseits mit der gedachten Vernarbung in der Kapselmembran, andrerseits mit der organischen Structur der äufsersten Linsenschichten stehen mögen; dafs endlich die dunkelen Linien der entoptische Ausdruck von Spalt- oder Absonderungsrichtungen sein können, welche in der Kapsel mit der Art des Schlusses und der Vernarbung bei ihrer Ablösung von der Hornhaut, in der Linse mit ihren sectorenförmigen Bestandtheilen in anatomischer Beziehung stehen. Auch darf hier auf den möglichen Zusammenhang der bei unseren Beobachtungen durchgängig objectlos befundenen Membran der hinteren Kapsel mit der Seltenheit hinterer Kapselstaare, sowie auf die histologische und anatomische Verschiedenheit zwischen vorderer und hinterer Kapsel aufmerksam gemacht werden.

Die Vergleichung unserer Spectra mit den nur in gröfserem Mafse eintretenden und daher von aufsen objectiv am Auge wahrnehmbaren Verdunkelungsformen, wie sie bei den verschiedenen Arten von Kapsel- und Linsenstaaren vorkommen, ist geeignet, nicht blofs den bereits oben (Art. 15) berührten allmäligen Uebergang zwischen normalen und pathologischen Zuständen des Sehorgans zu erläutern, sondern auch beim Studium der physiologischen Natur der entoptischen Binnenkörper brauchbare Daten an die Hand zu geben. In den unseren entoptischen Figuren beigefügten Darstellungen einiger Staarformen [1]) zeigen sich zum Theil und

[1]) Diese Abbildungen, die ich der gefälligen Mittheilung meines

abgesehen von dem höhern Grad der Opacität auffallende Aehnlichkeiten mit den beharrlichen entoptischen Erscheinungen gesunder Augen. Die Verknüpfung aber der äufsern (objectiven) Diagnose mit der hier dargelegten Art der entoptischen Beobachtung der cataractösen Verdunkelungen und ihres Verlaufs an staarkranken Augen dürfte vielleicht künftig in doppelter Hinsicht, sowohl für die Physiologie als für die Pathologie des Gesichtssinnes von Interesse sein. Die nähere Prüfung und Beurtheilung bleibt indessen ganz dem Ophthalmologen anheim gestellt.

Freundes, des Herrn Professor Ruete verdanke, stellen folgende Formen von Cataracten dar:

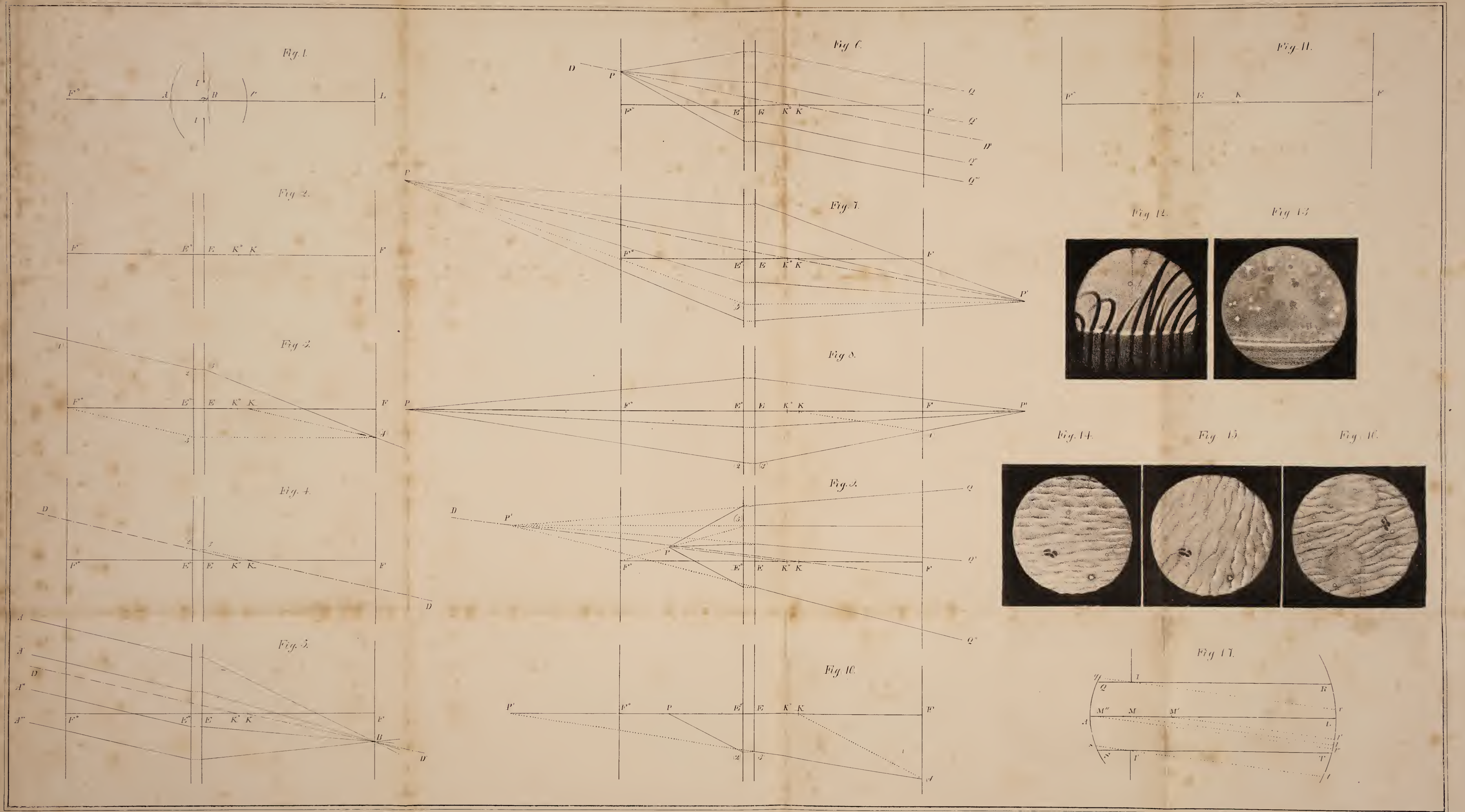
Fig. 44. Kapsel-Staar.
„ 45. weicher Kapsel-Linsen-Staar.
„ 46. Kapsel-Linsen-Staar, sehr rasch, wahrscheinlich durch Entzündung entstanden.
„ 47. harter Linsen-Staar.
„ 48. angeborner Linsen-Staar.
„ 49. hinterer Kapsel-Staar.

Vgl. auch v. Ammon's klinische Darstellungen der Krankheiten und Misſsbildungen des menschlichen Auges. Berlin 1838. Theil I. Tab. IX, X, XI, XII.

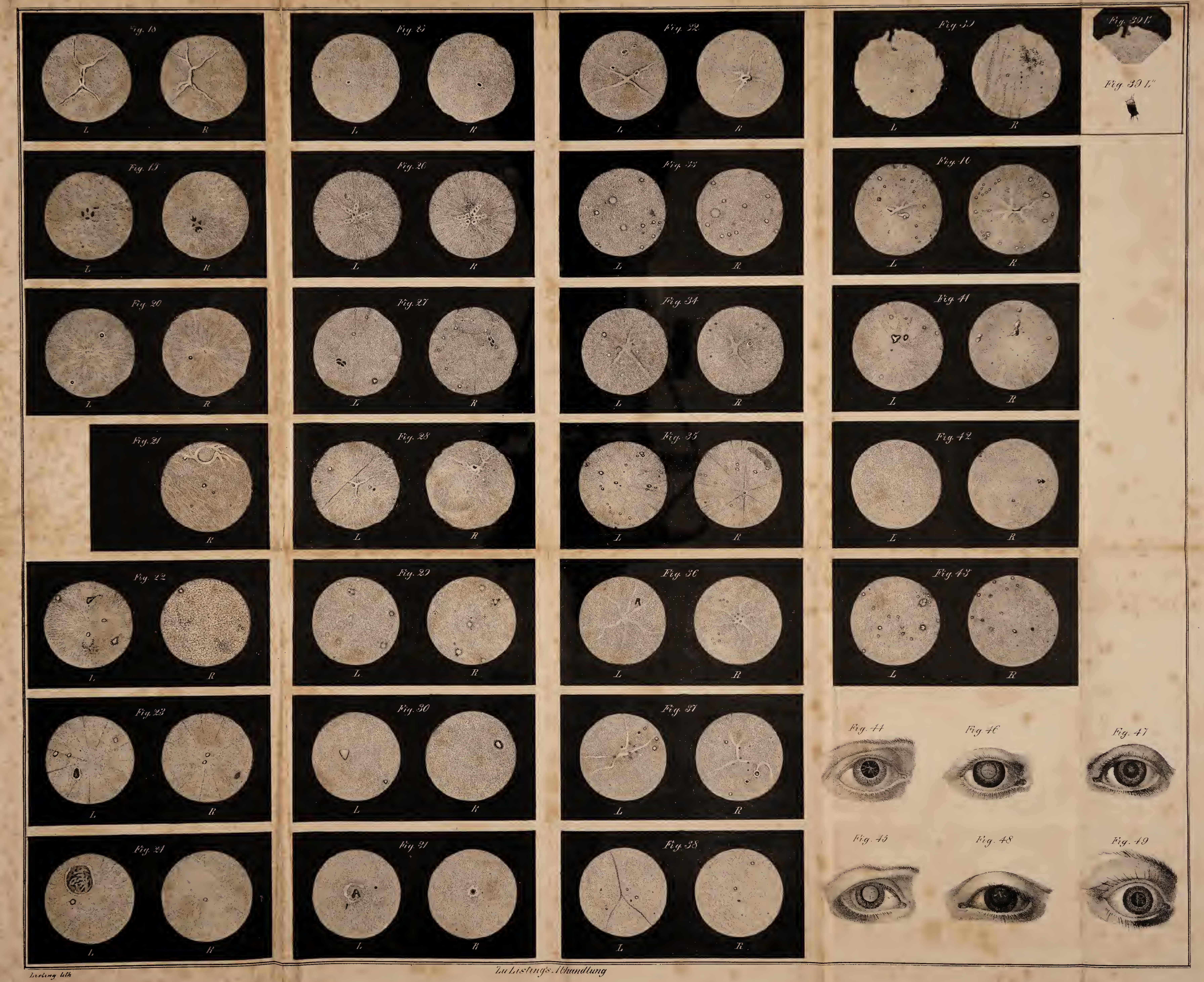


Druck von E. A. Huth in Göttingen.





Zu Listing's Abhandlung


Taf. II
Fig. 18
Fig. 25
Fig. 32
Fig. 39
Fig. 19
Fig. 26
Fig. 33
Fig. 40
Fig. 20
Fig. 27
Fig. 34
Fig. 41
Fig. 21
Fig. 28
Fig. 35
Fig. 42
Fig. 22
Fig. 29
Fig. 36
Fig. 43
Fig. 23
Fig. 30
Fig. 37
Fig. 44
Fig. 46
Fig. 47
Fig. 24
Fig. 31
Fig. 38
Fig. 45
Fig. 48
Fig. 49
Listing lith.
Zu Listing's Abhandlung





